

Lajit ja luontotyypit muuttuvassa ilmastossa

Juha Pöyry & Kaisu Aapala (toim.)



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA
2 | 2020

Lajit ja luontotyypit muuttuvassa ilmastossa

Juha Pöyry & Kaisu Aapala (toim.)

Helsinki 2020

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 2 | 2020
Suomen ympäristökeskus SYKE
Biodiversiteettikeskus

Lajit ja luontotyytit muuttuvassa ilmastossa

Kirjoittajat: Juha Pöyry ja Kaisu Aapala (toim.)

Vastaava erikoistoimittaja: Terhi Rytteri

Rahoittaja/toimeksiantaja: Ympäristöministeriö

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus SYKE
Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Kansikuva: Juha Pöyry
Sisäsivujen kuvat: Mainittu kuvien yhteydessä
Taitto: Marja Vierimaa

Julkaisu on saatavana internetistä: syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke
sekä ostettavissa painettuna SYKEN verkkokaupasta: syke.juvenesprint.fi

ISBN 978-952-11-5123-1 (nid.)
ISBN 978-952-11-5124-8 (PDF)
ISSN 1796-1718 (pain.)
ISSN 1796-1726 (verkkok.)

Julkaisuvuosi: 2020

ESIPUHE

Suomen ympäristökeskus (SYKE) toteutti vuosina 2017-2019 ympäristöministeriön rahoituksella ja yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen, Helsingin yliopiston ja Metsähallituksen Luontopalvelujen kanssa *Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa* -hankkeen (SUMI). SUMI-hankkeen keskeisenä tavoitteena oli tuottaa uutta tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomen suojelualueverkostoon ja suojelualueilla esiintyviin lajeihin ja luontotyyppeihin, sekä niihin kohdistuviin muihin uhkiin. Yhtenä keskeisenä tarkastelukohteena olivat lajien ominaisuudet sekä niiden yhteydet lajien haavoittuvuuteen ilmastonmuutokselle. Toisena keskeisenä teemana oli luontotyyppien haavoittuvuus muuttuvassa ilmastossa.

Tähän raporttiin on koottu tilannekuva ilmastonmuutoksen vaikutuksista luontodirektiivin lajeihin ja luontotyyppeihin. Katsauksen perusteella on mahdollista tunnistaa lajeja ja luontotyyppejä, jotka ovat erityisen haavoittuvia ilmastonmuutokselle, sekä tehdä suosituksia monimuotoisuuden suojelemiseksi lämpenevissä ilmasto-olosuhteissa.

Aira Kokko, Katariina Mäkelä ja Terhi Rytteri SYKEstä ovat kommentoineet luontotyyppiluvun sisävesi-, tunturi-, metsä- ja rannikkotekstilunnoksia, mistä lämmin kiitos.

Hankkeen ohjausryhmässä olivat edustettuina ympäristöministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, Ilmatieteen laitos, Luonnontieteellinen keskusmuseo Luomus, Luonnonvarakeskus, Metsähallituksen Luontopalvelut sekä Metsähallitus Metsätalous Oy. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimi ympäristöneuvos Mikko Kuusinen ympäristöministeriöstä.

Lajien ja luontotyyppien haavoittuvuuden arviointi ilmastonmuutoksen näkökulmasta on erittäin ajankohtaista. Pitkän tähtäimen tavoitteena on niin kutsuttu ilmastoviisas luonnonsuojelu, jota tämä tutkimushanke osaltaan edistää.

Helsingissä 15. tammikuuta 2020

Juha Pöyry ja Kaisu Aapala

TIIVISTELMÄ

Lajit ja luontotyypit muuttuvassa ilmastossa

Ilmastoviisaan luonnonsuojelusuunnittelun pohjaksi tarvitaan tietoa siitä, miten lajit, niiden osapopulaatiot sekä luontotyypit reagoivat muuttuvaan ilmastoon. Samalla tarvitaan tietoa siitä, mitkä lajit ja luontotyypit ovat kaikkein haavoittuvimpia ilmastomuutokselle ja mitä voidaan tehdä niiden suojelun tukemiseksi. *Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa* (SUMI) -hankkeessa, joka toteutettiin vuosina 2017–2019 Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) ympäristöministeriön rahoittamana, pyrittiin vastaamaan näihin kysymyksiin.

Työn ensimmäisessä osassa selvitettiin lajiominaisuuksien yhteyksiä lajien haavoittuvuuteen ilmastomuutokselle. Erityisenä kiinnostuksen kohteena oli lisäksi se, miten ilmastomuutos vaikuttaa EU:n luontodirektiivin liitteiden II ja IV sekä lintudirektiivin liitteen I lajeihin. Kirjallisuusselvityksen avulla kerättiin tietoa lajien havaituista ja ennustetuista vasteista muuttuvaan ilmastoon, ja muutosten suhdetta lajiominaisuuksiin mallinnettiin tilastollisesti. Tarkasteltavia eliöryhmiä olivat linnut, perhoset, putkilokasvit, lahoppuhyönteiset, lahoppusienet ja jäkälät. Lajien ominaisuuksien havaittiin vaikuttavan niiden haavoittuvuuteen ilmastomuutokselle; negatiiviset vaikutukset korostuvat pohjoisen viileisiin oloihin, kuten tunturi- ja suoelinympäristöihin erikoistuneilla lajeilla, joiden leviämiskyky on rajoittunut. Eri eliöryhmillä nousi esille myös muita lajien haavoittuvuutta ilmastomuutokselle heijastelevia ominaisuuksia, joita on tärkeää huomioida lajien hoito- ja suojelusuunnittelussa. Tilastomallien tulosten avulla tunnistettiin ilmastomuutokselle potentiaalisesti haavoittuvia lajeja, joiden vaste ilmastomuutokseen on negatiivinen.

Työn toisessa osassa tarkasteltiin ilmastomuutoksen aiheuttamia havaittuja tai ennustettuja muutoksia luontotyypeissä. Katsaus keskittyi luontodirektiivin liitteen I luontotyyppiryhmiin: rannikko, sisävedet ja rannat, perinnebiotoopit, tunturit, suot, kalliot ja metsät. Ilmastomuutoksen vaikutukset luontotyypeihin ovat ensi sijassa laadullisia. Herkimmiksi luontotyypeiksi tunnistettiin rannikon hauru- ja meriajokasvallit sekä primäärisuknessioon liittyvät luontotyypit, lumenviipymät, tunturikoivikot, tunturikankaat, virtavesien latvapurot, Tunturi-Lapin pienvedet, perinnebiotoopit, palsasuot, eteläiset aapasuot, lähteet ja lähdesuot sekä avoimet ja puoliavoimet kallioluontotyypit. Ilmastomuutoksen myötä lisääntyvät luontaiset häiriöt voivat vaikuttaa positiivisesti metsiin lisäämällä kuolleen puun sekä runsaslahoppuustoisten nuorten sukkessiovaiheiden ja lehtipuiden määrää.

Ilmastomuutokselle haavoittuvien lajien ja luontotyyppien suojelua on mahdollista tukea muodostamalla mahdollisimman kattava luonnonsuojelualueverkosto eri ilmastovyöhykkeille. Lisäksi suojelualueiden ulkopuolella tarvitaan toimia, jotka lisäävät lajien mahdollisuuksia siirtyä uusille alueille ilmaston muuttuessa. Mahdollisia työkaluja tähän tarjoavat esimerkiksi vapaaehtoisen suojelun ohjelmat (METSO), maatalouden ympäristötuki ja HELMI-elinympäristöohjelma. Suojelualueilla on luonnonhoidon ja ennallistamisen keinoin mahdollista hidastaa ilmastomuutokselle haavoittuvien lajien ja luontotyyppien häviämistä tai heikentymistä. Jos ilmastomuutoksen hillinnässä ei kuitenkaan onnistuta kansainvälisesti, tapahtuu Suomen luonnossa laajamittainen muutos kuluvan vuosisadan aikana.

Asiasanat:

Ilmastomuutos, haavoittuvuus, lajit, lajiominaisuudet, luontotyypit, luontodirektiivi, suojelualueverkosto

SAMMANDRAG

Arter och naturtyper i ett föränderligt klimat

Klimatsmart naturvårdsplanering kräver kunskap om hur arter, populationer och naturtyper reagerar på att klimatet förändras. Samtidigt behövs kännedom om vilka arter och naturtyper det är som är mest utsatta för klimatiförändringen och vad som kan göras för att stöda deras skydd. SUMI-projektet (*Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa - Skyddsområdesnätverk i ett föränderligt klimat*), som genomfördes vid Finlands miljöcentral (SYKE) åren 2017–2019 med finansiering av miljöministeriet, syftade till att svara på de här frågorna.

Första delen av arbetet gick ut på att utreda på vilket sätt arternas egenskaper påverkar det hur sårbara arterna är för klimatiförändringen. Speciellt fokus lades på klimatiförändringens inverkan på arterna som nämns i Annex II och IV till EU:s art- och habitatdirektiv samt i Annex I till fågeldirektivet. En litteraturutredning gav information om observationer och prognoser av arternas respons på att klimatet förändras. Med en statistisk modellanalys undersökte man förhållandet mellan arternas egenskaper och förändringarna. Organismgrupper som studerades var fåglar, fjärilar, kärlväxter, insekter och svampar som kräver död ved, samt lavar. Arternas egenskaper påverkar hur sårbara de är för klimatiförändringen. Speciellt negativt påverkas arter som är specialiserade på svala förhållanden i norr, som livsmiljöer i fjäll och myrar, och har en begränsad förmåga att breda ut sig. Olika organismgrupper kan även ha andra egenskaper som reflekterar deras sårbarhet för klimatiförändring, som bör beaktas i planeringen av arternas vård och skydd. Statistiska modellresultat bidrog till att identifiera arter med negativ respons på klimatiförändringen som potentiellt sårbara arter.

I andra delen av arbetet studerade man observationer eller prognoser av förändringar i naturtyperna som förorsakats av klimatiförändringen. Översikten har fokus på grupper av naturtyper i Annex I till art- och habitatdirektivet: kusten, sötvatten och stränder, vårdbiotoper, fjäll, myrar, hållmarker och skogar. Klimatiförändringen påverkar naturtyperna i första hand kvalitativt. Som känsligaste naturtyper identifierades kustens driftvallar och naturtyper sammanhängande med primärsuccessionen, snölegor, fjällbjörkskogar, fjällhedar, små bäckar, små vattendrag i nordvästra Lappland, vårdbiotoper, palsamyrar, sydliga aapamyrar, källor och källkärr, samt öppna och halvöppna hållmarker. De naturliga störningar som ökar i antal med klimatiförändringen antas inverka positivt på skogens sammansättning genom en ökning av död ved samt av unga successionsfaser med mycket död ved och av antalet lövträd.

Man kan stödaskyddet av arter och naturtyper som är sårbara för klimatiförändringen genom att skapa ett så täckande nätverk som möjligt av naturskyddsområden i olika klimatzoner. Dessutom behövs åtgärder utanför skyddsområdena som ökar chanserna för arterna att förflytta sig till nya områden när klimatet förändras. Exempel på redskap är frivilliga skyddsprogram (METSO), miljöstöd till lantbruket, och HELMI-livsmiljöprogrammet. I skyddsområdena kan naturvård och återställande åtgärder fördröja att klimatsårbara arter och naturtyper försvinner. Om man inte lyckas begränsa klimatiförändringen, står Finlands natur inför en omfattande förändring under det nuvarande århundradet.

Nyckelord:

Klimatiförändring, sårbarhet, arter, arternas egenskaper, naturtyper, naturdirektivet, skyddsområdesnätverk

ABSTRACT

Species and habitats in a changing climate

Climate-smart nature conservation requires knowledge about how species, their populations and habitat types react to changing climate. Furthermore, information on which species and habitat types are the most vulnerable to climate change and what can be done to aid their conservation is crucial. The SUMI project (*Protected area network in the changing climate*) conducted during 2017–2019 at the Finnish Environment Institute (SYKE) and funded by the Finnish Ministry of the Environment, aimed at answering these questions.

The first part of this work investigated how species characteristics are connected to their vulnerability to climate change. As a special target, it was explored how climate change affects species of EU Community interest (i.e. species listed in the EU Habitats Directive Annexes II and IV and the EU Birds Directive Annex I). Information on observed and predicted responses of species to climate change were gathered during a literature survey, and species responses were related to their characteristics by using statistical modelling. Focal species groups included birds, butterflies and moths, vascular plants, saproxylic beetles and fungi as well as lichens. Species characteristics affected their vulnerability to climate change so that negative effects were most pronounced in species adapted to cool environments such as fells and peatlands as well as in species with restricted dispersal abilities. Several species were identified as potentially vulnerable to climate change based on the results of statistical models.

The second part of this work investigated observed and predicted changes in habitats induced by climate change. The overview focuses particularly on habitat types listed in the EU Habitats Directive Annex I: Baltic coasts, freshwaters, traditional rural biotopes, fells, mires, rocky outcrops and forests. Impacts of climate change on habitats are primarily qualitative. Coastal drift lines and the habitat types related to primary succession stages, snowbeds, mountain birch forests, mountain heaths, first order streams, small inland waters in northern Lapland, traditional rural biotopes, palsa mires, southern aapa mires, springs and spring mires, and open and semi-open rocky outcrops were identified as the most sensitive habitat types to climate change. Climate change will increase natural disturbances that can have a positive impact on forested habitats by increasing dead wood, early succession forests with abundant decaying wood and deciduous trees.

The key to conservation of species and habitat types vulnerable to climate change is developing a comprehensive network of protected areas across climatic zones. In addition, outside protected areas complementary actions are needed to support species movement to new areas. These measures include voluntary conservation (METSO programme), agri-environment schemes and the newly initiated habitat management programme (HELMI). Within protected areas habitat management and restoration may be applied to slow down disappearance of species and habitats. However, if international targets to mitigate climate emissions are not achieved, a major transformation is expected to occur in the Finnish nature during the ongoing century.

Keywords:

Climate change, vulnerability, species, species characteristics, habitat types, protected area network

SISÄLLYS

Esipuhe	3
I Johdanto	11
1.1. Ilmastomuutos Suomessa	11
1.2. Havaitut ilmastomuutoksen vaikutukset lajeihin	12
1.3. Ennustetut ilmastomuutoksen vaikutukset lajeihin	13
1.4. Lajien ja luontotyyppien haavoittuvuus ilmastomuutokselle	13
1.5. Ilmastomuutoksen vaikutusmekanismit lajeihin	14
1.6. Varautuminen ilmastomuutokseen	16
1.7. Raportin tavoite	17
2 Lajien ominaisuudet ja haavoittuvuus ilmastomuutokselle	19
2.1. Aineisto ja menetelmät	19
2.1.1. Tietokantahaku	19
2.1.2. Lajien ominaisuudet ja vasteet ilmastomuutokseen	19
2.1.3. Tilastolliset menetelmät	20
2.1.4. Ilmastomuutokselle haavoittuvien lajien tunnistaminen	20
2.2. Tulokset	21
2.2.1. Julkaisujen ja havaintojen määrä	21
2.2.2. Lajiominaisuuksien yhteys ilmastomuutokseen reagoimiseen	21
2.2.2.1. Linnut	21
2.2.2.2. Perhoset	24
2.2.2.3. Putkilokasvit	29
2.2.2.4. Lahopuukovakuoriaiset	34
2.2.2.5. Lahopuusienet	36
2.2.2.6. Jäkelät	38
2.2.2.7. Luonto- ja lintudirektiivien lajit	42
2.3. Tulosten tarkastelu	44
2.3.1. Tulosten kokoaminen	44
3 Luontotyypit muuttuvassa ilmastossa – havaittuja ja ennustettuja muutoksia	49
3.1. Tausta ja tavoitteet	49
3.2. Aineisto ja menetelmät	50
3.3. Rannikon luontotyypit	50
3.3.1. Rannikon luontotyyppeihin vaikuttavat keskeiset ympäristötekijät ja ilmastomuutoksen mahdolliset vaikutukset niihin	51
3.3.2. Ilmastomuutoksen vaikutuksia rannikon luontotyyppeihin	52
3.3.2.1. Rantavallit – häviäjiä ja voittajia	52
3.3.2.2. Hiekkarannat ja dyynit	54
3.3.2.3. Maankohoamisrannikon primäärisukkesiovaiheen luontotyypit joutuvat altaalle merenpinnan noustessa	59
3.3.2.4. Yleisiä muutosennusteita rannikkoympäristöissä	59
3.3.3. Yhteenveto	60

3.4. Sisävedet ja rannat	61
3.4.1. Sisävesien luontotyyppisiin vaikuttavat keskeiset ympäristötekijät ja ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutukset niihin	62
3.4.1.1. Sademäärien ja sateiden jaksottumisen muutoksilla on suora vaikutus sisävesiin	62
3.4.1.2. Myös lämpötilan nousu vaikuttaa suoraan sisävesien olosuhteisiin	61
3.4.2. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia sisävesien luontotyyppisiin	64
3.4.2.1. Virtavedet	65
3.4.2.2. Järvet ja lammet	68
3.4.3. Yhteenveto	68
3.5. Nummet, niityt ja pensastot	69
3.5.1. Johdanto	69
3.5.2. Aineisto	70
3.5.3. Merkittävimmät vaikutukset	70
3.5.4. Merenrantaniityt	71
3.5.5. Nummet	72
3.5.6. Tuoreet niityt	73
3.5.7. Kosteet niityt	73
3.5.8. Niittoniityt	74
3.5.9. Hakamaat	74
3.5.10. Yhteenveto	75
3.6. Tunturit	75
3.6.1. Tunturiluonnon ominaispiirteet	75
3.6.2. Tunturiluontotyyppien uhanalaisuuden arviointi	77
3.6.3. Porolaidunnuksen vaikutukset	78
3.6.4. Ilmastonmuutoksen vaikutukset tunturiympäristöissä	78
3.6.4.1. Keskeiset ympäristötekijät ja ilmastonmuutoksen vaikutukset niihin	79
3.6.4.2. Ilmastonmuutos metsänrajalla	80
3.6.4.3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset luontodirektiivin tunturiluontotyyppisiin	81
3.6.4.4. Muut ilmastonmuutoksen uhkaamat tunturiluontotyyppit	85
3.6.4.5. Eri tekijöiden yhteisvaikutukset muuttuvassa ilmastossa	85
3.6.5. Johtopäätökset ja tutkimustarpeet	86
3.7. Suot	87
3.7.1. Lämpötilan ja sateisuuden muutokset keskeisiä suoluontotyypeille	87
3.7.2. Luontotyyppiryhmittäiset muutokset	88
3.7.2.1. Karut, rahkaiset suot	88
3.7.2.2. Minerotrofiset avosuot	89
3.7.2.3. Palsasuot	90
3.7.2.4. Lähteet ja lähdesuot sekä huurresammallähteet	91
3.7.2.5. Puustoiset suot ja metsäluhdut	92
3.7.3. Yhteenveto	92
3.8. Kalliot	93
3.8.1. Aineisto ja menetelmät	93
3.8.2. Tulokset	94
3.8.3. Tulosten tarkastelu	95

3.9. Metsät	97
3.9.1. Johdanto	97
3.9.2. Ilmastomuutos suorana ja epäsuorana uhkatekijänä metsäluontotyypeille	98
3.9.3. Puulajit ja ilmastomuutos	100
3.9.4. Ilmastomuutos ja metsien häiriödynamiikka	102
3.9.4.1. Tuli – metsäpalot	104
3.9.4.2. Tuuli	105
3.9.4.3. Kuivuus	105
3.9.4.4. Nisäkkäiden laidunnuspaine	106
3.9.4.5. Hyönteiset	107
3.10. Yhteenveto ja johtopäätökset ilmastomuutoksen vaikutuksista luontotyypeihin	109
4 Johtopäätökset	113
4.1. Suomen suojelualueverkosto ja sen kehittäminen lajien ja luontotyyppien suojelemiseksi	113
4.2. Tutkimustarpeet	114
4.3. Tulokas- ja vieraslajit	116
4.4. Yhteenveto	116
Kirjallisuus	118
Liitteet	140
Liite 1. Putkilokasvit ilmaston muuttuessa	140
Liite 2. Suomessa esiintyvien EU:n luontodirektiivin liitteiden II, IV ja V lajien suojelutasot kaudella 2013–2018 alpiinisella, boreaalisella ja Itämeren alueella, ja ilmastomuutos lajin paineena ja/tai uhkana.	201
Liite 3. Suomessa esiintyvien EU:n luontodirektiivin liitteen I luontotyyppien suojelutason kokonaisarvio kaudella 2013–2018 boreaalisella ja alpiinisella alueella, ja ilmastomuutos luontotyyppien paineena ja/tai uhkana. Itämeren luontotyyppit eivät ole mukana taulukossa.	205



Rakkahopeatäplä (*Boloria frigga*)

1 Johdanto

Sirke Piirainen, Juha Pöyry & Kaisu Aapala

I.I.

Ilmastomuutos Suomessa

Ihmisen aiheuttama ilmastomuutos on jo käynnissä. Vuoden keskilämpötila on noussut 1850-luvun ja 2010-luvun välillä Suomessa keskimäärin noin 2,5 °C (Mikkonen ym. 2015; Ilmasto-opas 2019a). Vuodenaikakohtaisen tarkastelun perusteella sekä viime vuosikymmenien aikana että pidemmällä aikavälillä talvet ovat lämmenneet eniten (Tietäväinen ym. 2010; Mikkonen ym. 2015). Alueellisen tarkastelun mukaan 2000-luvun alun lämpötilapoikkeamat vuosien 1971–2000 keskimääräisistä lämpötiloista olivat suurempia maan pohjoisosissa kuin etelässä, monin paikoin 1–1,5 °C. Etelässä keskilämpötilat olivat keskimäärin 0,5–1 °C vuosien 1971–2000 vertailukautta korkeampia (Ilmatieteenlaitos 2010).

Suomen ilmasto tulee muuttumaan vielä voimakkaammin lähivuosikymmeninä. Lämpötilojen arvioidaan nousevan Suomessa 1,5–2 kertaa nopeammin kuin maapallolla keskimäärin. Kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisen onnistumisesta riippuu, jääkö lämpötilannousu kahteen asteeseen, vai nouseeko lämpötila jopa kuusi astetta vuosisadan loppuun mennessä, jos päästöjen kasvu jatkuu nykyistä vauhtia (Jylhä ym. 2004; Ruosteenoja ym. 2016a).

Ilmaston lämmitessä myös vuotuisen sademäärän on ennustettu lisääntyvän Suomessa 8–20 %. On tärkeää huomata, että ilmastomuutosennusteissa on vuodenajoista riippuvia eroja. Keskeinen piirre on, että sekä lämpötilojen että sademäärien ennustetut muutokset ovat suhteellisesti suurempia talvella kuin kesällä (Ruosteenoja ym. 2016a; 2016b).

Ilmaston lämpeneminen pidentää kasvukausia ja kasvattaa lämpösummia. Vuotuiset lämpösummat ovat nousseet Suomessa erityisesti 1990-luvun puolivälin jälkeen (Lehtonen & Pirinen 2019). Jo tämän vuosisadan alkupuoliskolla kasvukausi on pidentynyt suuressa osassa Suomea noin kolme viikkoa, kymmenkunta päivää molemmista päistä. Kuluva vuosisadan lopulle ennustettuja olosuhteita, korkeiden kesälämpötilojen ja pitkän päivän yhdistelmää, ei tavata tällä hetkellä missään maapallolla (Ruosteenoja ym. 2016b). Tällä muutoksella voi olla merkittäviä seurauksia eri eliölajien ja elinympäristöjen menestymiseen Suomessa.

Lumen hupeneminen on suhteellisesti suurinta etelässä. Ennusteiden mukaan lumena tulevan sateen määrä vähenee syksyllä ja keväällä, Etelä-Suomessa keskitalvellakin. Lapissa satavan lumen määrä sen sijaan lisääntyy keskitalvella. Samalla kuitenkin lumen talviaikainen sulaminen yleistyy. Ilmaston lämmitessä myös maaperän routaantuminen vähenee (Jylhä ym. 2012).

Sekä keskimääräisten tuulennopeuksien että myrskytuulten ennustetaan voimistuvan Suomen alueella kuluva vuosisadan aikana, minkä voidaan odottaa lisäävän esimerkiksi metsäympäristöjen talviaikaisia tuulituhoja (Gregow ym. 2012).



1.2.

Havaitut ilmastonmuutoksen vaikutukset lajeihin

Viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana tapahtunut lämpeneminen on jo aiheuttanut laajamittaisia muutoksia Suomen luonnossa. Kasvillisuuden perustuotanto on lisääntynyt laajalti pohjoisilla alueilla, myös Suomessa. Monet eteläistä alkuperää olevat lajit ovat runsastuneet voimakkaasti ja niiden levinneisyyden painopisteet ja pohjoisreunat ovat siirtyneet kohti pohjoista. Tällaisia lajeja ovat esimerkiksi pikkuvarpunen (*Passer montanus*), neitoperhonen (*Aglais io*) ja keisarinviitta (*Argynnis paphia*). Vastaavasti moni levinneisyydeltään pohjoinen laji, kuten esimerkiksi lin-

nuista, riekko (*Lagopus lagopus*) ja järripeippo (*Fringilla montifringilla*) ja perhosista metsäpohjanmittari (*Entephria caesiata*), pensasmittari (*Macaria loricaria*) ja silkkiiyökkönen (*Hillia iris*), on vähentynyt ja vetäytynyt Etelä-Suomesta (Virkkala & Lehikoinen 2017; Leinonen ym. 2017). Lajien esiintymisen runsaussuhteissa tapahtuneet muutokset heijastuvat myös lajiyhteisöjen koostumuksiin. Tästä esimerkkinä ovat yöperhoset, joiden lajiyhteisöissä levinneisyydeltään lounaiset lajit ovat muuttuneet aiempaa selvästi runsaammiksi viimeisen 25 vuoden kuluessa (Leinonen ym. 2016). Linnuilla viime vuosikymmenien aikana tapahtunut lajiyhteisöjen muutos on hieman vaihdellut eri elinympäristötyypeillä siten, että peltolintujen, kosteikkolintujen ja tunturilintujen populaatiot ovat keskimäärin siirtyneet kohti luodetta tai pohjoisluodetta, kun taas metsälinnut ovat siirtyneet kohti koillista ja pohjoiskoillista (Lehikoinen & Virkkala, 2016). Myös fenologiassa eli biologisten ilmiöiden ajoittumisessa on havaittu huomattavia muutoksia. Näistä esimerkkejä ovat kasvillisuuden aiempaa aikaisempi kehittyminen (Holopainen ym. 2013), lintujen kevätmuuton aikaistuminen (Jonzén ym. 2006), kekomuurahaisten keväisen aktivoitumisen aikaistuminen (Lappalainen ym. 2008) ja perhosten monisukupolvisuuden yleistyminen (Pöyry ym. 2011; Leinonen ym. 2016).

1.3.

Ennustetut ilmastonmuutoksen vaikutukset lajeihin

Lajien levinneisyyksien muutosten odotetaan edelleen voimistuvan Suomessa ilmastonmuutoksen edetessä (Tuomenvirta ym. 2018). Nämä ennusteet perustuvat erityisesti ns. bioklimaatistien mallien avulla tuotettuihin ennusteisiin (Heikkinen ym. 2006). Pohjoinen, viileään ilmastoon sopeutunut lajisto vähenee, ja vaarana on, että se häviää suureksi osaksi Suomesta. Vastaavasti eteläinen lajisto runsastuu ja osin korvaa aiemman viileämpään ilmastoon sopeutuneen lajiston. Ennusteiden mukaan esimerkiksi pohjoisten pesimälintulajien levinneisyysalueet pienenenevät ilmastonmuutosskenaariosta riippuen keskimäärin 74–84 % kuluvaan vuosisadan loppuun mennessä (Virkkala ym. 2008).

Hyönteisten ja lintujen levinneisyysalueiden siirtyminen kohti pohjoista jatkuu ja voimistuu ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. Lajien kyky siirtyä lämpenevän ilmaston mukana riippuu kuitenkin niiden ominaisuuksista, kuten liikkumiskyvystä, sekä lajeille sopivien elinympäristöjen määrästä ja alueellisesta tiheydestä (Tuomenvirta ym. 2018). Esimerkiksi kasvit pystyvät luultavasti reagoimaan ilmastonmuutokseen huomattavasti hitaammin kuin eläimet rajoittuneemman liikkumiskykynsä takia.

Erityisesti niukkaravinteisissa ja viileissä elinympäristöissä elävien uhanalaisten lajien menestyminen saattaa heiketä entisestään. Näille lajeille lisäpainetta aiheuttavat mm. vieraslajit, joiden on ennustettu hyötyvän ilmastonmuutoksesta enemmän suhteessa alkuperäiseen lajistoon (Heikkinen ym. 2012).

Suurin osa Suomea koskevista tutkimuksista on tehty eliöryhmillä, joista on olemassa laajoja levinneisyys- ja havaintoaineistoja, kuten linnut ja perhoset. Lisäksi tämäntyyppisiä tutkimuksia on myös usein tehty taloudellisesti tärkeillä lajeilla kuten esimerkiksi metsätalouden kannalta merkittävillä puulajeilla (Aapala ym. 2017).

1.4.

Lajien ja luontotyyppien haavoittuvuus ilmastonmuutokselle

Mikä tekee tietyistä lajeista haavoittuvampia kuin toisista? Lajien haavoittuvuus (*vulnerability*) ilmastonmuutoksen vaikutuksille on tutkimusteema, joka vaatii tarkas-

teluja useammasta kuin yhdestä näkökulmasta. Lajien haavoittuvuuden arvioinnissa käytetyt kriteerit on usein ryhmitelty kolmeen pääkategoriaan: (1) lajien altistuminen (*exposure*) ilmastonmuutokselle, (2) lajien herkkyys (*sensitivity*) ja (3) niiden sopeutumiskyky (*adaptive capacity*) (Dawson ym. 2011; Aapala ym. 2017).

Lajien altistuminen (*exposure*) ilmastonmuutokselle tarkoittaa sitä, kuinka laajalti lajeille suotuisten alueiden määrä ja sijainti tulevat ennusteiden mukaan muuttumaan. Ilmastollisesti suotuisien alueiden muutokset voivat johtaa myös varsinaisiin lajien levinneisyysalueiden muutoksiin, etenkin kun muutokset koskevat lajipopulaatioiden kannalta keskeisiä lisääntymiseen ja selviytymiseen vaikuttavia ilmastotekijöitä. Suotuisten alueiden määrään vaikuttaa usein merkittävästi esimerkiksi se, kuinka paljon lämpötila kohoaa lajin nykyisellä levinneisyysalueella. Altistumista ilmastonmuutokselle voi arvioida esimerkiksi lajeille tehtävien bioklimaattisten levinneisyysmallien avulla (Dawson ym. 2011).

Lajien herkkyys (*sensitivity*) ilmastonmuutokselle ilmentää sitä, kuinka voimakkaasti lajin, paikallispopulaation tai yksilöiden hengissä säilyminen, elinvoimaisuus ja lisääntyminen riippuvat vallitsevista ilmasto-oloista. Herkempi laji reagoi voimakkaammin ilmastonmuutokseen kuin vähemmän herkkä laji. Herkempien lajien elinkelpoisuus ja lisääntymiskyky alenee suhteellisen voimakkaasti jo vähäisen lämpötilan tai sademäärän muutoksen takia (Dawson ym. 2011). Lajien herkkyyttä ilmastonmuutokselle voidaan siten arvioida lajien lämpötila- ja sademäärätoleranssin laajuuden, lajien ekofysiologisten ominaisuuksien sekä joidenkin lajiominaisuuksien avulla (Siegel ym. 2014; Pacifici ym. 2015; Reside ym. 2016).

Lajien sopeutumiskyky (*adaptive capacity*) ilmentää lajin kykyä mukautua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin nykyisellä elinalueellaan, siirtymällä suotuisampaan kohtaan samalla alueella, tai leviämällä kokonaan uudelle eliömaantieteelliselle alueelle. Tämä sopeutumiskyky vaihtelee muun muassa sen mukaan, mikä on lajien ja paikallisten populaatioiden fenotyyppinen joustavuus (*phenotypic plasticity*; eliön fenotyyppin eli ilmiasun muuttuminen ympäristön vaikutuksesta). Esimerkiksi perhosilla on enemmän monisukupolvisuutta lämpimänä kesänä kuin seuraavana viileänä kesänä (Pöyry ym. 2011). Sopeutumiskykyyn vaikuttavat myös lajin geneettinen monimuotoisuus (*genetic diversity*), joka mahdollistaa paikallispopulaatioiden muuntelun ja kehittymisen, evoluutionopeus (*evolutionary rate*) sekä lajiominaisuudet (*life history traits*), joita ovat esimerkiksi leviämis- ja kolonisaatiokyky (*dispersal and colonization ability*) (Dawson ym. 2011). On huomattava, että eri tutkimuksissa samoja lajiominaisuuksia voidaan käyttää joko sopeutumiskyvyn tai herkkyyden kriteereinä. Siten arviointikriteerien jaottelu ei ole yksiselitteisen selkeää.

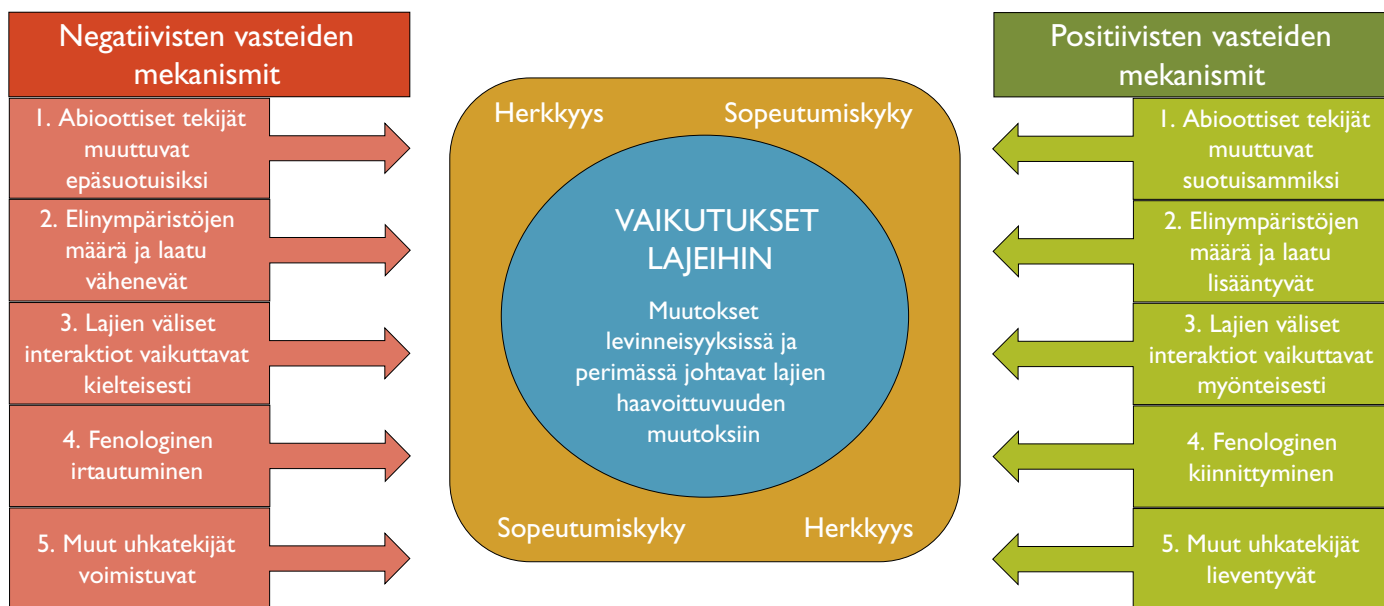
Luontotyyppien (habitaattien tai ekosysteemien) haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle voidaan tarkastella samojen kriteerien – altistuminen, herkkyys, sopeutumiskyky – avulla kuin lajienkin. Luontotyyppien altistuminen kuvaa ilmastonmuutoksen voimakkuutta sillä alueella, millä luontotyyppi sijaitsee. Herkkyys ilmentää sitä, kuinka hyvin tai huonosti luontotyyppi sietää ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia. Luontotyyppien sopeutumiskyky kuvaa puolestaan sitä pystyykö luontotyyppi sopeutumaan muuttuneisiin olosuhteisiin tai kuinka nopeasti se pystyy palautumaan esimerkiksi satunnaisen sään ääri-ilmiön aiheuttamista muutoksista (Harley ym. 2011; Alterra & Eurosite 2013).

1.5.

Ilmastonmuutoksen vaikutusmekanismit lajeihin

Aiemmissa tutkimuksissa on yleensä keskitytty arvioimaan lajien haavoittuvuutta mittaamalla vain lajien altistumista ilmastonmuutokselle. Tutkijat ovat kuitenkin huomanneet, että kaikki lajit eivät reagoi ilmastonmuutokseen samansuuntaisesti.

Altistuminen ilmastonmuutoksen vaikutuksille



Kuva 1. Ilmastonmuutoksen vaikutusmekanismit lajeihin Fodenin ym. (2019) mukaan.

Siksi on nähty tärkeänä myös sellaiset tutkimukset, joissa lajien biologiset (fysiologiset, ekologiset ja evolutiiviset) ominaisuudet huomioidaan altistumisen lisäksi. Muuten vaarana on, että joillain lajeilla ilmastonmuutoksen negatiivisia vaikutuksia yli- tai aliarvioidaan (Foden ym. 2013). Onkin keskeistä, että ilmastonmuutoksen mekanismit ja vaikutukset eliölajistoon ja lajiyhteisöihin tunnetaan mahdollisimman kattavasti, jotta sen vaikutuksista voidaan tehdä luotettavampia ennusteita. Tämä mahdollistaa myös sen, että tunnistetaan ne tekijät, joiden avulla ilmastonmuutoksen negatiivisia vaikutuksia voidaan vähentää ja joihin suojelutoimet kannattaa siten kohdentaa.

Miten siis ilmastonmuutos vaikuttaa lajeihin? Foden ym. (2019) jakaa ilmastonmuutosvaikutusten mekanismit viiteen luokkaan (Kuva 1). Ensiksi, eliöiden fysiologiset preferenssit tai rajat sopivat joko paremmin tai huonommin yhteen ympäristöolosuhteiden muutosten kanssa. Toiseksi, eliöiden elinympäristöt ja mikrohabitatit voivat muuttua laadultaan ja/tai saatavuudeltaan niin, että tärkeiden resurssien saatavuus ja/tai laatu muuttuu. Kolmanneksi, eliöt kokevat muutoksia suhteissaan muihin lajeihin, jotka voivat olla lajeja hyödyttäviä tai haittaavia, vaikka lajien väliset suhteet olisivat nykyhetkellä neutraalejakin. Neljänneksi, lajipopulaatioissa voi tapahtua fenologisia muutoksia, jolloin lajille edullisten tapahtumien tai lajien välisen interaktioiden ajoittaminen häiriintyy tai parantuu (fenologinen irtautuminen, *phenological mismatch* (termiä *trophic mismatch* käytetään myös samassa yhteydessä)). Viidenneksi, eliöt kokevat muutoksia vuorovaikutuksessaan muihin kuin ilmastonmuutokseen liittyvien tekijöiden kanssa, jolloin ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat voimistua.

Entä mikä tekee lajista haavoittuvan? Kunkin lajin herkkyys ja sopeutumiskyky määrittävät ilmastonmuutoksen vaikutusten ja mekanismien suhteen, joka puolestaan määrittää lajin haavoittuvuuden (Foden ym. 2019) (Kuva 1). Ilmastonmuutoksen mekanismit voivat olla yksittäisiä tai toimia muiden mekanismien kanssa kumulatiivasti, vastakkaisesti tai neutraalisti. On huomattava, että vaikka edellä esitetyt haavoittuvuuteen vaikuttavat tekijät soveltuvat lajitasolle, ne kuitenkin perustuvat

yksilöiden vasteisiin ilmasto-olojen muuttuessa. Tyypillisesti eri alueellisten populaatioiden – ja myös saman paikallispopulaation – yksilöt eroavat toisistaan sekä geneettisesti että fenotyyppiltään kun tarkastellaan niiden morfologiaa, fysiologiaa ja käyttäytymiseen tai elinkiertoa liittyviä ominaisuuksia. Ilmastonmuutoksella voi siksi olla vastakkaisiakin vaikutuksia eri yksilöihin ja eri paikoissa esiintyviin populaatioihin. Siksi ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat todennäköisemmin positiivisia siirtyvän lajin ”etenevällä” esiintymisrajalla (yleensä pohjoisraja tai vuoristossa yläraja) ja vastaavasti negatiivisia ”supistuvalla” rajalla (yleensä eteläraja tai vuoristossa alaraja) (Foden ym. 2019). Vaikutukset voivat olla myös erilaisia eri aikoina. Esimerkiksi elinkiertonsa eri vaiheissa yksilö saattaa olla haavoittuvampi kuin toisessa vaiheessa. Lajin haavoittuvuutta on kuitenkin mahdollista ennustaa esimerkiksi lajiominaisuuksien avulla (esim. Pöyry ym. 2009; Heikkinen ym. 2010).

1.6.

Varautuminen ilmastonmuutokseen

Suojelualueet ovat tärkeitä edistettäessä luonnon monimuotoisuuden sopeutumista ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin. Suojelualueet on pyritty perustamaan luonnon monimuotoisuuden suojelun kannalta merkittävillä alueilla, ja useimmat haitalliset tekijät vaikuttavat suojelualueilla selvästi vähemmän kuin niiden ulkopuolella. Onkin arvioitu, että ekologisesti toimivat ja riittävät suojelualueverkostot ovat tärkein sopeutumista edistävä suojelukeino muuttuvassa ilmastossa (Ruuhela 2012, Tuomenvirta ym. 2018). Suojelualueiden sisällä on mahdollista toteuttaa keinoja, joilla voidaan joko edistää tai hidastaa ennustettuja muutoksia. Näistä yksi esimerkki ovat toimet, joilla pyritään estämään nykyisin puuttomien tunturialueiden metsittymistä. Sellaisten lajien, joiden luontaista siirtymistä rajoittaa sopivien elinympäristöjen määrä, sopeutumista voidaan mahdollisesti, joskin rajallisesti ja vasta huolellisen riskien, hyötyjen ja siirtotarpeen yhtäaikaisen analyysin perusteella, auttaa myös lajien siirtoistutuksilla (Seddon ym. 2014; Hällfors ym. 2017; Pykälä 2017).

Koska luonnonsuojelualueet voivat parhaimmillaankin kattaa vain pienen osan maa- ja vesialueiden kokonaispinta-alasta, tarvitaan toimia myös niiden ulkopuolella, ns. tavanomaisessa talouskäytössä olevilla alueilla. Lisäksi nykyinen suojelualueverkosto painottuu Suomessa voimakkaasti maan pohjoisosiin (Tuomenvirta ym. 2018, Luonnonvarakeskus 2019). Esimerkkejä suojelualueiden ulkopuolella toteutettavista toimista ovat luonnon monimuotoisuuden kannalta tärkeiden alueiden ylläpitäminen maatalousalueilla maatalouden ympäristötuen avulla sekä metsätalouden kehittäminen siten, että ilmastonmuutoksen ja luonnon monimuotoisuuden keskinäiset riippuvuussuhteet otetaan aiempaa paremmin huomioon (Kellomäki ym. 2008; Mazziotto ym. 2015). Yksi mekanismi tämän tavoitteen toteuttamiseksi on vapaaehtoinen suojelu ja luonnonhoito METSO-ohjelman kautta. Erityisen tärkeää olisi pyrkiä synnyttämään ns. ekologiaa käyttäviä, joilla yhdistetään toisiinsa luonnonsuojelualueita ja mahdollistetaan lajien siirtyminen näiden välillä (Nuñez ym. 2013; Tainio ym. 2016).

Eliöstön ja luontotyyppien sopeutumisen kannalta on tärkeää, että niihin kohdistuvia muita paineita, kuten elinympäristöjen vähenemistä, pirstoutumista ja laadun muutosta, riistalajien liiallista pyyntiä, tulokaslajeja ja kemiallista kuormitusta pystytään vähentämään. Suojelualueiden luontoarvot tulisi myös pitää elinympäristöjen hoidon ja ennallistamisen avulla mahdollisimman hyvinä (Ruuhela 2012; Aapala ym. 2017).

Raportin tavoite

Tässä raportissa arvioidaan sitä, mitkä lajiominaisuudet tekevät lajeista herkkiä tai sopeutumiskyvyttömiä (tai päinvastoin, sieto- tai sopeutumiskykyisiä) ilmastonmuutokselle, ja tarjotaan selityksiä näille yhteyksille. Tarkastelun pääpaino on Suomessa luonnonvaraisena esiintyvässä eliölajistossa, ja tarkasteltavia eliöryhmiä ovat linnut, kasvinsyöjähyönteiset, putkilokasvit, lahoppuukovakuoriaiset ja -sienet sekä jäkälät. Kustakin eliöryhmästä tunnistetaan raportissa lajiominaisuuksien perusteella ilmastonmuutokselle haavoittuvimpia lajeja.

Käytetyt uhanalaisten lajien arvioinnit tässä tarkastelussa olivat vuoden 2010 arviointi (Rassi ym. 2010) sekä lintujen osalta vuoden 2015 arviointi (Tiainen ym. 2016). Tilastoanalyysit tehtiin vuonna 2018, jolloin uusimman uhanalaisarvioinnin (Hyvärinen ym. 2019) tulokset eivät vielä olleet käytettävissä. Raportin nimistössä noudetaan tammikuussa 2019 julkaistua Suomen lajien luetteloa sisältäen mahdolliset lajiryhmäkohtaiset päivitykset ennen marraskuuta 2019 (Suomen Lajitietokeskus 2019).

Raportin toisena tavoitteena oli muodostaa kirjallisuuden perusteella tilannekuva ilmastonmuutoksen aiheuttamista havaituista tai ennustetuista muutoksista luontotyypeissä sekä tunnistaa luontotyyppiryhmittäin tärkeimmät muuttuvat ympäristötekijät. Käytettävissä olevan tiedon perusteella tunnistettiin ilmastonmuutokselle herkimvät luontotyytit.

Tässä raportissa esitettävä katsaus noudattaa väljästi luontodirektiivin liitteen I Suomessa esiintyvien maaympäristön ja sisävesien luontotyyppien mukaista luokitte-
telua. Tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta juuri luontodirektiivin mukaisiin tyyppisiin oli saatavissa vaihtelevasti, joten tarkkuus vaihtelee luontotyyppiryhmittäin.



Tunturivalkokämmekä (*Pseudorchis straminea*)

2 Lajien ominaisuudet ja haavoittuvuus ilmastonmuutokselle

Sirke Piirainen, Eija Kemppainen, Pekka Punttila, Juha Pykälä,
Raimo Virkkala & Juha Pöyry

2.1.

Aineisto ja menetelmät

2.1.1.

Tietokantahaku

Aineistoa kerättiin pääosin Web of Science -julkaisutietokannasta. Sieltä etsittiin julkaisuja, jotka käsittelevät lajien havaittuja ja ennustettuja vasteita ilmastonmuutokseen. Tarvittaessa hyödynnettiin myös Google ja Google scholar -tietokantoja. Hakusanoina käytettiin esimerkiksi "climat* AND change AND eliöryhmän tai lajin nimi". Julkaisuja etsittiin kunkin eliöryhmän koko lajistosta mutta erityisesti keskityttiin Suomessa esiintyviin EU:n luontodirektiivin lajeihin. Lisäksi kiinnitettiin huomiota myös muihin lajeihin kuten tulokas- ja vieraslajeihin. Mukaan otettiin pääasiassa boreaalisella vyöhykkeellä tehtyjä tutkimuksia, mutta soveltuvien osin myös temperaattista ja arktista vyöhykettä koskevat julkaisut huomioitiin. Painopisteenä olivat Euroopassa, etenkin Fennoskandiassa, tehdyt työt. Jos julkaisuja ei löytynyt riittävästi, myös Pohjois-Amerikassa esiintyvää euraasialaista sekä muuta lajistoa koskevat tutkimukset huomioitiin. Julkaisujen ajankohdalle emme asettaneet rajoituksia, sillä pääosa tutkimuksista on todennäköisesti julkaistu 2000-luvulla.

2.1.2.

Lajien ominaisuudet ja vasteet ilmastonmuutokseen

Mukaan otetuista julkaisuista koottiin eliöryhmittäin tietoja havaituista ja ennustetuista muutoksista lajien esiintymisessä. Havaituissa muutoksissa saattoi olla mukana myös muita taustatekijöitä kuin ilmastonmuutos, mutta ennustetuissa muutoksissa arvio perustui aina ilmastonmuutoksen perusteella mallinnettuun muutokseen. Jos samassa julkaisussa oli tehty useita muutosennusteita perustuen eri ilmastonmuutosskenaarioihin, aineistoon valittiin ne, jotka edustivat ns. "keskitien" skenaarioita (A1B, B2, RCP4.5). Aineiston tilastollista käsittelyä varten lajien vasteet jaettiin kolmeen ryhmään: i) positiiviset (sopeutuvaiset lajit), ii) neutraalit (ilmastonmuutoksen suhteen indifferentit lajit) ja iii) negatiiviset (herkät lajit). Positiiviset ja negatiiviset vasteet muunnettiin testejä varten binäärisiksi muuttujiksi (*dummy variable*), eli jos lajin vaste oli positiivinen, se sai siinä luokkamuuttujassa koodin "1" ja luokkamuuttujassa "negatiivinen" koodin "0". Negatiivisen vasteen kohdalla vastekoodit merkittiin toisin päin.

Kaikista eliöryhmistä kerättiin tietoa lajin direktiivistatuksesta, uusimmasta saatavilla olleesta uhanalaisuusluokituksesta (linnut 2015, muut lajit 2010) ja tutkimuksen

tyypistä (seuranta, kokeellinen, mallinnus ym.). Tämän lisäksi lajeista kerättiin lajio-minaisuustietoja, jotka vaihtelivat eliöryhmittäin (Taulukko 1). Lajiominaisuustietoja täydennettiin myös muista lähteistä kuin edellä mainituista julkaisusta, koska ne sisälsivät yleensä niukasti tietoa lajiominaisuuksista. Kasvinsyöjähyönteisten kohdalla tilastollinen tarkastelu rajattiin vain perhosiin, koska niistä löytyi eniten julkaisuja ja niiden lajiominaisuustietoja oli helpoiten saatavilla.

Taulukko 1. Julkaisuista kerätyt tiedot ja lajiominaisuudet.

Eliöryhmä	Lajiominaisuus
Kaikki eliöryhmät	Direktiivistatus, uhanalaisuusluokitus, tutkimustyyppi (seuranta, kokeellinen, mallinnus)
Linnut	Muuttokäyttäytyminen, pesyekoko, sukupolven pituus, paino, levinneisyys-alue, elinympäristö, populaatiokoko
Perhoset	Talvehtimismuoto, voltinismi (sukupolvien määrä vuodessa), siipiväli, liikkuvuus, ravintokasvin kasvumuoto, ravintokasvin tyypipitoisuus, erikoistuminen ravintokasvien käytössä, elinympäristö, elinympäristön laajuus, elinympäristön tuottavuus, levinneisyysalue, yleisyys, yleisyyden muutos
Putkilokasvit	Sukupolven pituus, monivuotisuus, kukinta-aika, pölytystapa, siemenellisen lisääntyminen, kaukolevintä, kasvullinen leviäminen, suhde muihin lajeihin, ilmasun joustavuus (fenotyyppinen plastisuus), geneettiset ominaisuudet, elinympäristön rajoittavat tekijät, pääluontotyyppi, lämpötilan vaikutus, kosteuden vaikutus, levinneisyysalue, esiintymisalueen koko, levinneisyysalueen koko, lisääntymiskykyisten yksilöiden määrä, vaste esiintymisalueen reunaosissa, Suomen populaation osuus Euroopan populaation koosta, suojeltujen populaatioiden osuus (Suomessa)
Lahopuu-kovakuoriaiset	Aikuisen ruumiin pituus, toukan kehittymisajan pituus, aikuisten esiintymisajan alku ja pituus, järeiden puiden suosiminen, puun lahoaste, puulaji, pienilmasto, levinneisyysalueen ulottuvuus ja sijainti.
Lahopuusienet	Itiön koko (pituus ja leveys), sienen itiöemän esiintymisajan pituus, riippuvuus muista sienilajeista, järeiden puiden suosiminen, puun lahoaste, puulaji, pienilmasto, levinneisyysalueen ulottuvuus ja sijainti.
Jäkälat	Kasvualusta, kasvumuoto, leväosakas (<i>photobiont</i>)

2.1.3.

Tilastolliset menetelmät

Tilastomallinnuksella tutkittiin kunkin eliöryhmän eri lajiominaisuuksien suhdetta lajien positiivisiin ja negatiivisiin vasteisiin. Tilastomallinnuksessa käytettiin yleistettyjä lineaarisia malleja (GLM) ja sekamalleja (GLMM), joissa virhejakauma oletettiin binomiaaliseksi (jolloin vastemuuttuja saattoi saada arvoja 0 ja 1). Malleissa käytettiin selitettävänä muuttujana joko positiivista tai negatiivista reaktiota havaittuun tai ennustettuun ilmastomuutokseen ja selittävänä muuttujana kutakin lajiominaisuutta yksitellen (*univariate model*). Lajeille, joista löytyi tietoa useammasta kuin yhdestä julkaisusta, tilastomallit tehtiin sekamallien avulla. Näissä malleissa useammasta tietolähteestä saatava aineisto huomioidaan niin sanottujen satunnaistekijöiden avulla. Tässä työssä satunnaistekijänä käytettiin julkaisua. Putkilokasveista ei aineiston hajanaisuuden vuoksi pystytty tekemään tilastollista tarkastelua.

2.1.4.

Ilmastomuutokselle haavoittuvien lajien tunnistaminen

Lajien haavoittuvuutta ilmastomuutokselle arvioitiin järjestämällä lajit niiden herkyyttä ja sopeutumiskykyä heijastelevien lajiominaisuuksien perusteella. Arviointi perustui niihin lajiominaisuuksiin, jotka saatujen tulosten mukaan todennäköisimmin aiheuttivat negatiivisia vasteita lajien esiintymisessä. Lajit, joilla oli eniten negatiivisia

tiivisia vasteita aiheuttaneita ominaisuuksia, nousivat listauksessa ylemmäs ja luokiteltiin haavoittuvammiksi kuin lajit, joilla näitä ominaisuuksia ei ollut. Osa ominaisuuksista oli jatkuvia muuttujia (esim. paino tai sukupolven pituus). Näille valittiin aineiston hajonnan perusteella kynnysarvo, jonka perusteella laji joko ilmensi tai ei ilmentänyt arvioitavaa ominaisuutta. Jos yhdelläkään lajilla, tai vain harvalla lajilla, ei ollut kaikkia negatiivisia vasteita aiheuttaneita lajiominaisuuksia, laajennettiin tarkastelua huomioimalla myös muita samankaltaisia lajiominaisuuksia. Esimerkiksi linnuilla huomioitiin ensisijaisesti vain kaukomuuttajat mutta toissijaisesti myös lähimuuttajat. Haavoittuvien lajien tunnistaminen tehtiin eliöryhmittäin.

2.2.

Tulokset

2.2.1.

Julkaisujen ja havaintojen määrä

Havaittuja vasteita käsitteleviä tutkimuksia löytyi useimmissa eliöryhmissä enemmän kuin ennusteita (Taulukko 2). Vain lahopuukuoriaisista ja -sienistä ei löydetty yhtään tutkimusta havaituista vasteista ja ennustetuista vasteistakin vain yksi tutkimus. Putkilokasveista löytyi huomattavasti enemmän tutkimuksia kuin muista eliöryhmistä, sekä havaituista että ennustetuista populaatiokoon muutoksista. Lajeja tarkasteluun kertyi jokaisesta eliöryhmästä runsaasti, sillä suurin osa tutkimuksista käsitteli kerralla suurta lajijoukkoa. Havaittuja vasteita käsitteleviä tutkimuksia löytyi joka eliöryhmässä (pois lukien lahopuulajit) keskimäärin noin kaksi lajia kohti. Ennustettuja vasteita käsitteleviä tutkimuksia löytyi sen sijaan vain noin yksi lajia kohti.

Taulukko 2. Kerätty kirjallisuus eliöryhmittäin.

Eliöryhmä	Havaitut				Ennustetut			
	Tutkimusten lkm	Lajien lkm	Havaintojen lkm	Havain-toja/ laji	Tutkimusten lkm	Lajien lkm	Havaintojen lkm	Havain-toja/ laji
Linnut	9	240	763	3.2	3	118	163	1.4
Perhoset	5	1 030	1 969	1.9	3	59	117	2.0
Lahopuukovakuoriaiset	-	-	-	-	1	64	64	1.0
Lahopuusienet	-	-	-	-	1	64	64	1.0
Putkilokasvit	59	49	82	1.7	60	69	108	1.6
Jäkälat	13	50	71	1.4	4	29	31	1.1

Lyhenteet: lkm = lukumäärä

2.2.2.

Lajiominaisuuksien yhteys ilmastonmuutokseen reagoimiseen

2.2.2.1.

Linnut

Lintujen esiintymisessä havaitut muutokset olivat todennäköisimmin positiivisia niillä lajeilla, jotka ovat pitkäikäisiä (suuntaa antava tulos), suurikokoisia paikkalintuja, ja jotka elävät metsissä ja Suomen eteläosissa (Taulukko 3).

Havaitut muutokset olivat todennäköisemmin negatiivisia lajeilla, jotka ovat lyhytikäisiä, pienikokoisia kaukomuuttajia, jotka elävät tunturiympäristössä ja Suomen pohjoisosissa.

Lintujen esiintymisessä ennustetut muutokset olivat todennäköisemmin positiivisia lajeilla, jotka esiintyvät Etelä-Suomessa ja negatiivisia lajeilla, jotka esiintyvät koko maassa tai vain Pohjois-Suomessa.

Taulukko 3. Lintujen havaitut ja ennustetut positiiviset ja negatiiviset vasteet.

Lajiominaisuus	Havaitut		Ennustetut	
	Positiivinen vaste	Negatiivinen vaste	Positiivinen vaste	Negatiivinen vaste
Muuttokäyttäytyminen	paikkalinnut *	kaukomuuttajat *	NS	NS
Luontodirektiivin laji	NS	NS	NS	NS
Uhanalaisuusluokka 2015	alhainen uhanalaisuusluokka ***	korkea uhanalaisuusluokka ***	NS	NS
Pesyekoko	NS	NS	NS	NS
Sukupolven pituus	pitkäikäisyys °	lyhytikäisyys **	NS	NS
Paino	painavuus **	keveys **	NS	NS
Populaatiokoko	-	-	NS	NS
Elinympäristö	metsä **	tunturi **	NS	NS
Levinneisyyden tyyppi	eteläinen ***	pohjoinen ***	eteläinen ***	pohjoinen ***

Tilastotesteissä merkitsevyys on merkitty seuraavasti: NS – ei merkitsevä; ° - $0,10 > p > 0,05$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$ ja *** – $p < 0,001$.

Muuttokäyttäytyminen: Lintujen muuttokäyttäytyminen jaettiin neljään luokkaan: kaukomuuttajat, lähimuuttajat, osittaismuuttajat ja paikkalinnut. Monen elion täytyy sovittaa eri elämänvaiheensa vuodenaikojen mukaan muuttuviin ympäristöihin. Pohjoisen linnut ovat ratkaisseet talvella vähenevän ravinnon ongelman muuttamalla alueille, joilla ravintoa riittää (Pearce-Higgins & Green 2014).

Muuttokäyttäytyminen kuvastaa osaltaan kuitenkin myös lajien liikkumis- ja sitä kautta levittäytymiskykyä. Pitkiä matkoja lentävien lintujen voisi olettaa pystyvän siirtymään muuttuvan ilmaston mukana uusille elinalueille ja täten olevan ilmastomuutokselle sopeutumiskykyisempiä kuin paikkalinnut. Toisaalta kaukomuuttajat altistuvat kuitenkin pitkän muuttomatkinsa aikana monille riskeille, kuten metsästykselle tai nälkiintymiselle, ja kärsivät levähdyspaikkojen vähenemisestä (Howard ym. 2018). Kaukomuuttajien menestymistä saattaa heikentää myös talvehtimisalueilla tapahtunut elinympäristöjen vähentyminen. Howardin ym. (2018) mukaan kaukomuuttajien lisääntymisalueiden siirtyessä pohjoisemmaksi ne joutuvat tulevaisuudessa lentämään yhä pidempiä matkoja lisääntymis- ja talvehtimisalueiden välillä, jolloin niiden pitää pysähtyä useammin keräämään energiaa. Lopputuloksena muutto pitenee useilla päivillä. Mitä pidempi aika muuttoon kuluu, sitä suuremman uhan nälkiintyminen ja saaliiksi joutumisen riski muodostavat. Lisäksi kaukomuuttajat voivat olla paikkalintuja alttiimpia fenologiselle irtautumiselle (*phenological mismatch*). Jos kevät aikaistuvat mutta muuttolinnut eivät saavu pohjoiseen aikaisemmin, saattavat ne saapua lisääntymisalueelle ravinnonhankinnan kannalta liian myöhään. Mitä tiukemmin lajin lisääntyminen riippuu jostakin lyhyen ajan kohtana esiintyvistä ravintolähteistä, sitä voimakkaammin ilmastomuutos voi vaikeuttaa tällaisen lajin menestymistä (Pearce-Higgins & Green 2014). Tästäkin näkökulmasta kaukomuuttajien voi siis olettaa olevan ilmastomuutokselle herkempiä kuin paikkalintujen.

Sukupolven pituus: Kaikilla eliöillä sukupolven pituuden oletetaan olevan kytköksissä lajien lisääntymispotentiaaliin ja sitä kautta evoluutionopeuteen. Lyhytikäiset lajit kehittyvät nopeammin sukukypsiksi ja lisääntyvät nopeammin kuin pitkäikäiset lajit. Näin ollen lyhytikäisillä lajeilla suvullisessa lisääntymisessä tapahtuvia mutaatioita ja sitä kautta syntyviä uusia sopeutumia muuttuviin elinolosuhteisiin syntyy nopeammin. Siksi lyhytikäiset lajit voivat olla sopeutumiskykyisempiä kuin pitkäikäiset (Foden ym. 2019). Tässä tutkimuksessa lyhytikäisyys liittyi kuitenkin todennäköisemmin negatiiviseen vasteeseen. Sukupolven pituus on yleensä vahvasti yhteydessä ruumiin kokoon ja muuttokäyttäytymiseen. Lyhytikäiset linnut ovat yleensä myös kooltaan pieniä ja kaukomuuttajia. Voikin olla, että linnuilla muuttokäyttäytymisestä ja ruumiin koosta johtuvat asiat selittävät paremmin vastetta ilmastonmuutokseen kuin sukupolven pituus.

Ruumiin koko: Pienikokoisilla lintulajeilla on enemmän lämpöä haihduttavaa pinta-alaa suhteessa tilavuuteensa, jolloin ne kestävät isokokoisia lajeja huonommin äärimmäisen kylmiä lämpötiloja tai tilanteita, joissa huono sää vaikeuttaa ravinnonhankintaa. Pienikokoinen laji ei kestä nälkiintymistä yhtä hyvin kuin isompi ja on siksi herkempi kaikenlaisille muutoksille elinympäristössään (Huntley ym. 2008). Varsinkin pohjoisessa Suomessa, jossa lämpötilojen vaihtelut voivat olla suuria, eliöiden ruumiinkoko ja siitä johtuva haihdunta – yhdessä muuttokäyttäytymisen kanssa – voivat selittää vastetta ilmastonmuutokseen paremmin kuin yllä esitetty hypoteesi lyhytikäisten lajien paremmasta lisääntymispotentiaalista. Iso, vähän haihduttava ruumiinkoko ja talvehtiminen lähellä lisääntymisalueita voivat olla pohjoiselle lajille ratkaisevampia tekijöitä kuin korkea lisääntymis- ja evoluutiopotentiaali. Lisäksi erityisesti suurikokoiset lajit ovat Suomessa runsastuneet ja laajentaneet levinneisyysaluettaan vainon loppumisen ja suojelutoimien ansiosta (esim. merikotka (*Haliaetus albicilla*), maakotka (*Aquila chrysaetos*) ja laulujoutsen (*Cygnus cygnus*)) (Virkkala & Lehikoinen 2017).

Elinympäristö: Lintujen elinympäristöt oli jaoteltu viiteen luokkaan: ihmisen muokkaamat kulttuuriympäristöt, metsät, kosteikot ja järvet, tunturialueet ja saaristo. Valtaosa tunturialueista on suojelualueita, joissa ihmisvaikutus on vähäistä, mutta silti tunturilajien taantuminen on ollut voimakasta viime vuosikymmenien aikana (Virkkala & Rajasärkkä 2012). Syyksi taantumalle epäilläänkin ilmastonmuutosta. Tunturielinympäristöjen lajit ovat jo ehkä altistuneet ja altistuvat tulevaisuudessakin ilmastonmuutokselle enemmän kuin eteläisempien alueiden lajit.

Lajit, jotka ovat elinympäristövaatimuksissaan hyvin rajoittuneita (spesialistit), voivat olla ilmastonmuutokselle herkempiä kuin laajempia elinalueita kelpuuttavat lajit (generalistit). Suomen linnuista eritoten pohjoisen tuntureilla elävät lajit ovat yleensä elinympäristövaatimuksiltaan tiukempia verrattuna esimerkiksi metsälajeihin, joista monet voivat yleensä hyödyntää monen tyyppistä metsää. Pienikin elinympäristön muutos tunturialueilla, kuten pensoittuminen, voi olla kohtalokas tunturilinnuille. Sen sijaan metsissä ilmaston lämpenemisen aiheuttamat muutokset ovat hitaita, eivätkä muuta metsän rakennetta niin nopeasti.

Levinneisyysalue: Lintulajit oli jaoteltu levinneisyyden mukaan eteläisiin, pohjoisiin ja koko Suomen alueella esiintyviin lajeihin. Pohjoisessa esiintyvät lajit voivat sijaintinsa takia altistua eteläisiä lajeja voimakkaammin ilmastonmuutoksen suorille ja epäsuorille vaikutuksille. Pohjoista lajistoa uhkaavat paitsi voimakkaasti lämpenevä ilmasto myös etelästä levittäytyvät lajit, jotka ovat muuttuvissa oloissa monesti vahvempia kilpailijoita (esim. Dale & Andreassen 2016). Pohjoisille lajeille ei tulevaisuudessa enää löydy nykyistä vastaavaa elinympäristöä, minne ne voisivat siirtyä. Pohjoinen levinneisyys liittyy usein vahvasti myös tunturielinympäristöissä

elämiseen, jolloin elinympäristö saattaa olla yhtä tärkeä tai tärkeämpi selittävä tekijä kuin eliömaantieteellinen levinneisyyskuva.

Uhanalaisuusluokitus: Lintujen uhanalaisuusluokittelu noudatti Kansainvälisen luonnonsuojeluliiton (IUCN) luokittelua: elinvoimainen (LC), silmälläpidettävä (NT), vaarantunut (VU), erittäin uhanalainen (EN) ja äärimmäisen uhanalainen (CR). Uhanalaisuusluokittelu huomioi mm. populaatioiden koon, tunnetut uhat, lisääntymisen onnistumisen ja lajin elinalueiden pirstoutumisen (Rassi ym. 2010; Tiainen ym. 2016). Siksi luokittelun voidaan olettaa heijastelevan monella tapaa niitä lajijominaisuuksia, jotka tekevät lajeista haavoittuvia (herkkiä, sopeutumiskyvyttömiä ja altistuneita) myös ilmastonmuutokselle. Tämä oletus ei sovellu suoraviivaisesti kaikkiin lajeihin, sillä ilmastonmuutos voi hyödyttää muista syistä uhanalaistuneita lajeja. Uhanalaisuusluokittelun voi kuitenkin olettaa toimivan suuntaa antavana mittarina. Odotetusti uhanalaisemmilla eli todennäköisemmin tietyllä aikavälillä sukupuuttoon kuolevilla lajeilla esiintyi negatiivisempia vasteita ilmastonmuutokselle kuin vähemmän uhanalaisilla lajeilla.

Haavoittuvien lajien tunnistaminen: Tarkasteltaessa pelkästään lajeja, jotka ovat kaukomuuttajia, luokiteltu silmälläpidettäväksi tai uhanalaisiksi (NT, VU, EN ja CR), elävät tunturielinympäristöissä, esiintyvät Pohjois-Suomessa, joiden sukupolven pituus on alle 8 vuotta ja paino alle kilon, nousee esille vain kaksi lajia: lapinkirvinen (*Anthus cervinus*, VU) ja lapinsirri (*Calidris temminckii*, EN).

Koska vain kaksi lajia täytti kaikki kriteerit, laajennettiin tarkastelua erilaisilla vaihtoehtoisilla tavoilla. Kun tarkasteluun otetaan mukaan myös lajit, jotka ovat järvi- tai kosteikkolajeja, haavoittuvien lajien lista pitenee käsittämään myös seuraavat lajit: jänkäsirriäinen (*Calidris falcinellus*, NT), suokukko (*Calidris pugnax*, CR), keltävästäräkki (*Motacilla flava*, NT), vesipääsky (*Phalaropus lobatus*, VU), mustaviklo (*Tringa erythropus*, NT) ja liro (*Tringa glareola*, NT).

Kun tarkastelua laajennetaan niin, että mukaan lasketaan lajit, jotka ovat lähimuuttajia, listalle päätyvät pulmunen (*Plectrophenax nivalis*, EN), keräkurmitsa (*Charadrius morinellus*, VU), tylli (*Charadrius hiaticula*, NT) ja sepelrastas (*Turdus torquatus*, EN).

Kun tarkasteluun otetaan mukaan kaikenkokoiset ja -ikäiset linnut, haavoittuvien lajien listalle nousee tunturikihi (*Stercorarius longicaudus*, NT). Jos tämän lisäksi huomioidaan myös lähimuuttajat, niin listalle nousevat myös suosirri (*Calidris alpina*, NT) ja alli (*Clangula hyemalis*, NT).

2.2.2.2.

Perhoset

Perhosten esiintymisessä havaitut muutokset olivat todennäköisemmin positiivisia lajeilla, jotka ovat pitkäikäisiä ja talvehtivat aikuisina, ovat isokokoisia, voimakkaita liikkumaan, joilla on kaksi tai useampia sukupolvia vuodessa, ja jotka ovat entuudestaan yleisiä. Lisäksi positiivisia esiintymisalueiden muutoksia tavattiin enemmän lajeilla, joiden levinneisyys on painottunut Etelä-Suomeen tai sitä etelämmäksi, ja jotka hyödyntävät ravintokasveinaan jäkäliä, sieniä, kariketta tai kasveja, joiden ravintokasvien typpipitoisuus on korkea. Elinympäristövaatimusten suhteen nämä lajit suosivat tarkentamattomia metsäisiä biotoppeja, metsänreunoja, niittyjä tai sitten ne edustavat lajeja, jotka menestyvät monenlaisissa, erityisesti tuottavissa, elinympäristöissä (Taulukko 4).

Perhoslajien levinneisyydessä havaitut negatiiviset muutokset olivat todennäköisimpiä lajeilla, jotka ovat pienikokoisia, harvinaisia ja vähentyneitä, esiintyvät koko Suomessa tai vain Pohjois-Suomessa. Negatiiviset muutokset olivat yleisempiä myös lajeilla, jotka talvehtivat toukkana, hyödyntävät ravintokasvina puuvartisia lajeja

ja joiden ravintokasvien tyyppipitoisuus on matala, liikkuvuus on vähäistä ja joilla sukupolven kehitys vie vähintään yhden tai useamman vuoden. Elinympäristövaatimusten suhteen nämä lajit esiintyvät etupäässä kallioilla ja havumetsissä, mutta myös soilla.

Perhosten esiintymisessä ennustetut muutokset olivat todennäköisemmin positiivisia lajeilla, jotka eivät vielä vakituisesti esiinny Suomessa tai jotka esiintyvät Etelä-Suomessa (Taulukko 4). Ennustettuja negatiivisia vasteita tavattiin etupäässä Pohjois-Suomessa esiintyvillä perhoslajeilla.

Taulukko 4. Perhosten havaitut ja ennustetut positiiviset ja negatiiviset vasteet.

Lajiominaisuus	Havaitut		Ennustetut	
	Positiivinen vaste	Negatiivinen vaste	Positiivinen vaste	Negatiivinen vaste
Luontodirektiivin laji	NS	NS	NS	NS
Uhanalaisuusluokka 2010	NS	NS	NS	NS
Yleisyys	Yleisyys ***	Harvinaisuus ***	NS	NS
Levinneisyyden tyyppi	Eteläisyys (Etelä-Suomi ja Suomen eteläpuoli) ***	Pohjoisuus, koko maa ***	Eteläisyys (Etelä-Suomi ja Suomen eteläpuoli) **	Pohjoisuus **
Talvehtimisaste	Aikuinen *	Toukka **	NS	NS
Toukan ravinnonkäytön laajuus	NS	NS	NS	NS
Toukan ravintokasvin kasvumuoto	Heinäkasvi, muu kuin ruoho tai puuvartinen °	Puuvartinen *	NS	NS
Toukan ravintokasvin Ellenberg-typpi-arvo	Nouseva arvo ***	Vähenevä arvo *	NS	NS
Elinympäristö (16 luokkaa)	Metsä, metsänreuna ***	Kallio, havumetsä ***	-	NS
Elinympäristö (9 luokkaa)	Metsä, niitty, generalisti ***	Harju °	-	NS
Elinympäristö (5 luokkaa)	Metsä **	NS	NS	NS
Elinympäristön leveys	NS	NS	NS	NS
Liikkuvuus	Voimakas **	Heikko **	NS	NS
Koko (etusiipien kärkiväli)	Kasvava **	Vähenevä **	NS	NS
Lentokauden pituus	Pitenevä *	NS	NS	NS
Sukupolvien määrä	Monipolvisuus, yksipolvisuus) ***	Yksipolvisuus, Monivuotisuus ***	NS	NS

Tilastotesteissä merkitsevyydet on merkitty seuraavasti: NS – ei merkitsevä; ° - 0,10 > p > 0,05; * – p < 0,05; ** – p < 0,01 ja *** – p < 0,001.

Yleisyys (prevalence): Perhosten yleisyyttä mitattiin asuttujen 10 km ruutujen osuutena kaikista atlaskarttaruuduista, joista oli tehty havaintoja (keskiarvo = 0,38; keskiahajonta = 0,28). Harvinaiset lajit, joiden populaatiot yleensä ovat pieniä ja/tai eristyneitä voivat olla herkempiä ilmastonmuutokselle kuin yleisemmät lajit, joiden populaatiot ovat yleensä myös suurempia ja paremmin kytkeytyneitä toisiinsa (Foden ym. 2019). Pienet ja eristyneet populaatiot ovat luontaisesti alttiimpia Allee-efektin ja sattumanvaraisten katastrofien vaikutuksille. Allee-efektillä tarkoitetaan yksilöä kohti lasketun lisääntymismenestyksen heikkenemistä yksilötiheyden harventuessa

tai populaation pienentyessä (Kuussaari ym. 1998). Harvinaisten lajien pienet populaatiot eivät myöskään pysty toipumaan yhtä nopeasti paikallisista sukupuutoista.

Elinympäristö: Perhosten lisääntymiselinympäristöt jaoteltiin kolmella eri tasolla (Taulukko 5). Tarkimmalla tasolla luokiteltiin 16 erilaista elinympäristöä, toiseksi tarkimmalla tasolla luokiteltiin yhdeksän elinympäristöä ja suurpiirteisimmällä tasolla viisi elinympäristöä. Elinympäristöissä tapahtuneiden muutosten perusteella etenkin kallioiden, harjujen, havumetsien, niittyjen ja soiden lajit voivat olla herkkiä ilmastonmuutoksen vaikutuksille, kun taas (tarkentamattomien) metsien, metsänlaidtojen sekä niittyjen lajit ja yleislajit eli generalistit voivat hyötyä ilmastonmuutoksesta. Ensiksi mainitut elinympäristöt ovat useissa selvityksissä arvioitu uhanalaisiksi (Kontula ym. 2018).

Taulukko 5. Perhosten elinympäristöjen luokittelu kolmella eri tasolla.

Tarkin luokitus (16 luokkaa)	Keskitarkka luokitus (9 luokkaa)	Karkein luokitus (5 luokkaa)
kosteikot	kosteikot	kosteikot
metsät tarkentamatta	metsät	metsät
havumetsät		
lehtimetsät		
suometsät		
suot		
harjut	harjut	
metsänlaidat		
pellonlaidat	pellonlaidat	
niityn ja metsän väliset laidat		
niityn ja pellon väliset laidat		
niityt	niityt	
avoimet ympäristöt	avoimet ympäristöt	avoimet ympäristöt
kivikot	kivikot	
tunturit	tunturit	tunturit
useiden elinympäristöjen lajit eli generalistit	generalistit	generalistit

Levinneisyysalue: Perhoslajit jaettiin esiintymisalueen painopisteen mukaan joko Suomen ulkopuolella (Ruotsissa, Virossa tai etelämpänä Euroopassa) esiintyviin, tai Suomen rajojen sisällä eteläisiin, pohjoisiin tai koko maassa esiintyviin lajeihin. Myös perhosilla pohjoiseen painottuva esiintymisalue todennäköisesti kuvaa lajien altistumista voimakkaammin ilmastonmuutokselle kuin levinneisyydeltään eteläisempien lajien. On kuitenkin huomattava, että levinneisyysalue on kytköksissä pohjoisten alueiden tunturi- ja suoelinympäristöihin ja voi täten heijastella myös lajien elinympäristövaatimuksista johtuvia uhkatekijöitä, eikä varsinaisesti pohjoista sijaintia.

Ravintokasvin kasvumuoto: Perhosten ravintokasvit luokiteltiin kasvumuotonsa perusteella joko ruoho- tai puuvartisiin kasveihin, heinäkasveihin ja muihin elomuotoihin (mm. karike, jäkälät ja sienet). Tämän tutkimuksen tulosten perusteella puuvartisista kasveja hyödyntävien lajien levinneisyydet olivat todennäköisemmin kokeneet negatiivisia muutoksia. On huomattava, että tälle tulokselle on aiempia päinvastaisia tuloksia. Esimerkiksi Pöyry ym. (2009) tulosten mukaan puuvartisista ravintokasveja hyödyntävät päiväperhoslajit ovat levinneet voimakkaammin kohti pohjoista verrattuna muihin kasvumuotoihin hyödyntäviin lajeihin. Pöyry ym. (2009)

selittivät tulosta siten, että voimakkaasti levinneet lajit olivat metsänreunoja suosivia lajeja, joille nykyinen metsänhoito synnyttää runsaasti sopivia elinympäristöjä, ja toisaalta jaloilla lehtipuilla toukkana eläviä lajeja. Käsillä olevassa tutkimuksessa tarkasteltiin kuitenkin päiväperhosten lisäksi myös yöperhosia, joiden osuus aineistossa oli huomattava. Yöperhosista suuri osa on boreaalisen vyöhykkeen lajeja, jotka elävät toukkana puuvartisilla varvuilla metsäympäristöissä (esim. Leinonen ym. 2016), kun taas päiväperhosissa tällaisia lajeja on suhteellisesti vähemmän.

Talvehtimismuoto: Perhosten talvehtimismuotoja ovat muna, toukka, kotelo ja aikuinen. Toukkana talvehtivat lajit, jotka vaativat alhaisia lämpötiloja diapaussin alkamiseksi, voivat olla ilmastonmuutokselle herkempiä kuin koteloina tai aikuisina talvehtivat lajit, jotka eivät käy läpi diapaussia ollenkaan tai eivät ole riippuvaisia kylmästä diapaussin alkamiseksi (Bale ym. 2002). Toisaalta lämpenevä ilmasto voi myös helpottaa monien lajien talvehtimistä. Esimerkiksi tunturimittarin munat eivät kestä -40 °C lämpötilaa. Koska näin alhaisia lämpötiloja esiintyy nykyisin aiempaa harvemmin, tunturimittarin (*Epirrita autumnata*) munat selviävät, ja tuhoisia massa-esiintymisiä pääsee syntymään aiempaa helpommin (Jepsen ym. 2008). Talvipakkasten heikentyminen on lisännyt Pohjois-Suomessa myös hallamittarin (*Operophtera brumata*) (Jepsen ym. 2008) ja Etelä-Suomessa havununnan (*Lymantria monacha*) (Fält-Nardmann ym. 2018) aiheuttamien tuhojen todennäköisyyttä. Havununna onkin runsastunut Suomessa voimakkaasti 1990-luvun jälkeen, mutta ei toistaiseksi ole aiheuttanut laajamittaisia metsätuhoja (Leinonen ym. 2016).

Voltinismi: Voltinismi eli sukupolvisuus luokittelee, kuinka monta sukupolvea perhosella on vuodessa. Lajilla voi olla yksi (*univoltine*), kaksi (*bivoltine*) tai useampi (*multivoltine*) sukupolvi vuodessa. Joillain lajeilla sukupolvia voi kehittyä tavanomaista useampi silloin, kun olosuhteet ovat edulliset, kuten perhosilla lämpiminä vuosina (Pöyry ym. 2011). Lisäksi on lajeja, joilla yhden sukupolven elinkierto kuluu enemmän kuin yksi vuosi (*semivoltine*). Suomessa monet pohjoiset lajit kuuluvat viimeiseen ryhmään. Lajit, jotka kehittyvät hitaasti ja lisääntyvät harvemmin voivat sopeutua huonommin ilmastonmuutokseen kuin nopeammin ja tehokkaammin lisääntyvät lajit. Ilmastonmuutos ja vaellukset näyttävätkin lisänneen monisukupolvisuuden säännöllisyyttä jo nyt (Pöyry ym. 2011). Aiemmin Suomen perhoslajistosta valtaosa on tuottanut vain yhden sukupolven kesässä. Yöperhosista esimerkiksi kääpiömittari (*Gymnoscelis rufifasciata*) on tehnyt viime vuosina eteläisimmässä Suomessa jo säännöllisesti kolme polvea vuodessa. Kakkospolvia on viime vuosina esiintynyt myös yhä pohjoisempana. Toisaalta monisukupolvisuus voi olla myös riski, koska perhosyksilöiden on ehdittävä sopivaan, kylmää kestävään kehitysvaiheeseen ennen talvea (Pöyry ym. 2011).

Lentoaika: Perhosten lentoaikaa mitattiin päivissä. Pitkään lentävillä lajeilla aikuiset yksilöt lentävät ensimmäisen kerran loppukesällä ja talvehtimisen jälkeen uudelleen keväällä. Pitkä lentoaika yhdessä sukupolvien määrän kanssa vaikuttaa siihen, kuinka pitkä aika lajilla on käytettävissä levittäytymiseen. Pitkään lentävät ja useita sukupolvia kesässä saavat lajit voivat ehtiä levittäytyä laajemmalle kuin lyhyen aikaa lentävät lajit (Sekar 2012).

Ruumiin koko & liikkuvuus: Ruumiin koko mitattiin naaraan siipien läpimittana millimetreissä. Päiväperhosten liikkuvuusindeksi oli asiantuntijoiden arvioihin perustuva arvo (0–10), joka kuvaa lajien liikkuvuutta (Komonen ym. 2004). Muilla perhoslajeilla siipien välimittaa käytettiin liikkuvuutta ilmentävänä niin sanottuna korvikemuuttujana (*proxy*). Ruumiinkoon ja liikkuvuuden välillä on yleensä vahva riippuvuus. Pienisiipiset lajit eivät ole yhtä tehokkaita lentäjiä kuin isosiipiset lajit.

Siten niiden liikkuvuus on vähäisempää, minkä vuoksi leviäminen ja siirtyminen uusille elinalueille voi olla vaikeaa (Sekar ym. 2012, Stevens ym. 2012; Kuussaari ym. 2014). Tämä voi tehdä pienisiipisistä ja heikosti liikkuvista lajeista huonommin ilmastonmuutokseen sopeutuvia.

Ravintokasvien ja elinympäristön tyypipitoisuus: Ravintokasvin tyypipitoisuutta arvioitiin maaperän Ellenbergin typpi-indikaattorin arvolla (1–8), joka kuvaa kasvien vaatimuksia maaperässä olevan typen määrän suhteen (Ellenberg ym. 1991). Yleensä kasvit, jotka kasvavat typpirikkaassa maassa, myös sisältävät paljon typpeä. Perhoset, jotka hyödyntävät runsastyypisiä kasvilajeja, ovat kooltaan isompia kuin vähätyypisiä kasveja suosivat lajit. Isompi ruumiinkoko puolestaan voi tehdä lajeista parempia lentäjiä, mikä mahdollistaa tehokkaamman liikkumisen ja levittäytymisen (Betzholtz ym. 2013). Tämän johdosta lajit, jotka suosivat vähätyypisiä ravintokasveja, ovat kooltaan pienempiä, ja sitä kautta huonompia levittäytyjiä ja mahdollisesti sopeutuvat ilmastonmuutokseen heikommin (Pöyry ym. 2017). Ravintokasvin korkea tyypipitoisuus on toisaalta myös yhteydessä lajin toukkavaiheen kehitysnopeuteen, sitä kautta sukupolvien määrään ja lopulta myös leviämiskykyyn (WallisDeVries 2014; Pöyry ym. 2017).

Haavoittuvien lajien tunnistaminen: Kun perhoslajeja tarkastellaan siten, että mukaan luetaan vain ne lajit, joiden esiintymisen painopiste on pohjoisessa tai koko Suomen alueella, talvehtimismuoto on toukka, ravintokasvin kasvumuoto on puumainen, ravintokasvien tyypipitoisuus on matala (Ellenberg-arvo alle 5), joiden elinympäristöä ovat joko kalliot, havumetsät tai harjut, liikkuvuus on alle 4, siipiväli on alle 50 mm ja joiden yhden sukupolven elinkierto on tasan tai pidempi kuin yksi vuosi, kaikkein haavoittuvimmiksi lajeiksi määrittävät seuraavat lajit: kuutäplä (*Cosmotriche lobulina*), metsäpohjanmittari (*Entephria caesiata*), laikkuvarpumittari (*Dysstroma latefasciatum*), sahaneulasmittari (*Heterothera serraria*), pohjanrengasmittari (*Elophos vittarius*), puneharmoyökkönen (*Xestia alpicola*), savuharmoyökkönen (*Xestia gelida*), nuoliharmoyökkönen (*Xestia rhaetica*), vaaleaharmoyökkönen (*Xestia sincera*) ja kirjoharmoyökkönen (*Xestia speciosa*). Kyseiset kymmenen lajia ovat levinneisyydeltään boreaalisen havumetsävyöhykkeen lajeja, ja niistä useimpien kannat ovat Suomessa vähentyneet selvästi viime vuosina (Leinonen ym. 2017). Useimmat näistä lajeista olivat vielä vuoden 2010 uhanalaisarvioinnissa elinvoimaisia (Rassi ym. 2010), mutta vuoden 2019 uhanalaisarvioinnissa kahdeksan kymmenestä lajista oli arvioitu uhanalaiseksi tai silmälläpidettäväksi (Hyvärinen ym. 2019).

Jos edellä mainittujen lajiominaisuuksien lisäksi tarkastelussa huomioidaan tilastomalleissa ei-merkitseviksi jääneet soiset elinympäristöt, joiden määrä on vähentynyt ojitusten seurauksena varsinkin Etelä-Suomessa, potentiaalisesti haavoittuvien lajien joukko laajenisi huomattavasti. Tällöin mukaan tulisivat seuraavat lajit: pikkukopussikas (*Acanthopsyche atra*), suomittari (*Arichanna melanaria*), suohopeatäplä (*Boloria aquilonaris*), rämehopeatäplä (*Boloria eunomia*), muurainhopeatäplä (*Boloria freija*), rahkahopeatäplä (*Boloria frigga*), suoyökkönen (*Coenophila subrosea*), suokelta-perhonen (*Colias palaeno*), tuhkaravajalka (*Gynaephora fassolina*), rämevarpumittari (*Dysstroma infuscatum*), sademittari (*Hypoxystis pluviana*), suovenhokas (*Nola karelica*), kirjojupsukas (*Orgyia recens*), seittipussikas (*Phalacropterix graslinella*), suokirjosiipi (*Pyrgus centaureae*), harmohentopossukas (*Sterrhopterix standfussi*), keltahopeayökkönen (*Syngrapha microgamma*), valkohopeayökkönen (*Syngrapha parilis*) ja juolukkasiniisi (*Vacciniina optilete*).

Haavoittuvien perhoslajien tunnistamista vaikeutti se, että monen lajiominaisuuden tiedot puuttuivat suurelta osalta lajeista. Kattavin tieto lajiominaisuuksista rajoittui päiväperhosiin. Samaan aikaan yöperhosten osuus aineistossa on huomattava, ja siksi päiväperhosista listalle nousevat vain harvat. Näistä syistä

johtuen edellä esitettyä haavoittuvien perhosten luetteloa on tarpeen tarkentaa jatkotutkimuksissa.

2.2.2.3.

Putkilokasvit

Ilmastonmuutoksen jo havaittujen ja ennustettujen vaikutusten tarkastelu kasveilla oli erityisen vaikeaa. Putkilokasveista löytyi useita julkaisuja, mutta niissä tarkastellut lajijominaisuudet vaihtelivat niin suuresti, ettei aineiston tilastollinen analysointi ollut mahdollista. Tarkastelu tehtiin pääasiassa luontodirektiivin liitteiden II ja IV lajeista. Useimmat niistä ovat harvinaisia, osa esiintyy vain Fennoskandiassa, ja niistä on tehty vain vähän tutkimusta. Direktiivikasvien lisäksi tarkasteltiin muita kasvilajeja, joille ilmastonmuutos on uhka tai se voi olla uhka tulevaisuudessa. Putkilokasvien alustava tarkastelu tehtiin vuoden 2010 Punaisen kirjan (Rassi ym. 2010) mukaisesti. Uhanalaisuusluokat, elinympäristöt ja uhkatekijät kuitenkin päivitettiin uusimman, keväällä 2019 (Hyvärinen ym. 2019) valmistuneen uhanalaisuuden arvioinnin mukaisiksi (Liite 1).

Ilmastonmuutoksen tutkimus putkilokasveilla: Putkilokasveja koskevat tutkimukset ovat usein hyvin paikallisia, joten samasta lajista saattaa eri alueilta saada hyvin erilaisia tuloksia. Myös tutkimusten ajankohta ja ajanjakson pituus vaihtelivat tutkimusten välillä vaikeuttaen tulosten tulkintaa. Kasvit voivat esimerkiksi lyhyellä aikavälillä hyötyä lisääntyvästä lämmöstä, mutta pidemmällä aikavälillä ne voivat kärsiä lämmöstä ja sen aiheuttamasta lisääntyneestä kuivuudesta. Jos lajien vasteita ilmastonmuutokseen tarkastellaan vain tietyssä kasvin elinkierron vaiheessa, tulos voi olla päinvastainen kuin johonkin toiseen elinkierron vaiheeseen perustuvan arvion tulos. Tarkastelussa ilmeni myös, että lumen vaikutusta on tutkittu vain vähän, vaikka muutamissa tutkimuksissa sen tärkeys ilmenee selkeästi, ja ilmastonmuutos vaikuttaa lumipeitteeseen voimakkaasti (Niittynen & Luoto 2017; Niittynen ym. 2018). Tarkasteluun sisältyneiden julkaisujen perusteella on kuitenkin mahdollista tehdä muutamia koottuja päätelmiä tutkimustuloksista (ks. myös Liite 1 jossa esitetään tarkempia lajikohtaisia tulkintoja).

Putkilokasvien herkkyydet liittyvät yleensä lämpötilaan ja muihin fysiologisiin tekijöihin, ja putkilokasvit kärsivät ilmastonmuutoksen suorista vaikutuksista esimerkiksi lisääntymiseen ja taimettumiseen. Muutokset elinympäristössä ja muissa eliöissä aiheuttavat lajeille epäsuoria vaikutuksia. Arvioitaessa kasvien mahdollisuuksia säilyä kasvupaikoillaan tai siirtyä uusille paikoille ilmastonmuutoksen edetessä on tärkeää tarkastella lajien biologisia ominaisuuksia.

Elinympäristöt: Monet tässä tutkimuksessa tarkastelluista putkilokasveista ovat tunturilajeja, jotka ovat rajoittuneita vain tietynlaisiin elinympäristöihin, ja joilla on tiukat vaatimukset kasvupaikkansa suhteen. Osa tarkastelluista lajeista esiintyy meillä vain Kilpisjärven suurtuntureiden kalkkipitoisissa osissa, ja niiden levinneisyysalue liittyy läheisesti Kölivuoriston laajempaan levinneisyysalueeseen. Merkittävä uhkatekijä näille lajeille onkin se, että nykyisten esiintymispaikkojen metsittyessä ilmaston lämpenemisen myötä korvaavia kalkkipitoisia elinympäristöjä ei ole tarjolla riittävän korkealla.

Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin vuoristoalueiden muuttuneen lämpimämmiksi ja kosteammiksi 26 seurantavuoden aikana (1982–2008), mutta vain muutaman lajin havaittiin siirtyneen aiempaa ylemmäs tunturin rinteillä (Moen & Lagerström 2008). Myös Englannissa todettiin muutokset kasvillisuudessa vähäisiksi ja pääteltiin, että elinympäristössä ja maankäytössä tapahtuneiden muutosten vaikutukset olivat merkittävämpiä (Grime ym. 2008). Toisaalta Parmesan ja Yohe (2003) totesivat eri julkaisuista kokoamassaan yhteenvedossa kasvilajien siirtyneen

keskimäärin yli kuusi kilometriä pohjoiseen tai vuoristoissa yli kuusi metriä ylempäs per vuosikymmen. Ilmastomuutoksen vaikutukset näyttävätkin vaihtelevan kasvillisuustyyppittäin ja alueittain, joten yksityiskohtaisia päätelmiä tai ennusteita muutoksista on vaikea tehdä (esim. Graae ym. 2018).

Itämeren alueella meren pinnan nousun ja sitä seuraavan elintilan kaventumisen myötä merenrantojen kasvilajiyhteisöt voivat heikentyä. Toisaalta merenpinnan nousu Suomenlahdella on kuluvalle vuosisadalla todennäköisesti vähäistä, sillä maankohoaminen lähes kompensoi merenpinnan nousun. Pohjanlahdella merenpinta todennäköisesti yhä laskee maankohoamisen ollessa suurempaa kuin merenpinnan nousu (Johansson ym. 2004). Toinen ilmastomuutoksen epäsuora vaikutus on se, että lisääntyneiden talvisateiden mukana valuma-alueilta vesistöihin huuhtoutuva liete ja ravinnekuorma lisääntyvät. Tämä lisää vesien rehevöitymistä ja pahentaa rantojen umpeenkasvua. Keväiset jäidenlähdtöt ovat tärkeä rantoja avoimena pitävä voima, ja jäätalvien muuttuminen aiempaa harvinaisemmiksi voimistaa omalta osaltaan merenrantojen umpeutumista (Kalliovirta ym. 2012).

Fenologia: Kuten muillakin eliöillä, myös putkilokasveilla ilmastomuutos voi aiheuttaa fenologista irtautumista (*phenological mismatch*) eli sotkea lajin elinkierroksen eri vaiheiden ajoituksen. Vuoristolajeilla kukinnan on todettu aikaistuvan kevään lämpötilan noustessa. Selvin muutos on tapahtunut varhain kukkivilla kasveilla. Jos kukinta kuitenkin aikaistuu liikaa, kukintaansa aloittelevat kasvit ovat herkkiä myöhemmin keväällä mahdollisesti esiintyville halloille. Tämänkaltaiset riskit ovat suurimmillaan silloin, kun kevätsäiden muutoksiin liittyy myös ääri-ilmiöiden (äkillisten lämpimien tai kylmien jaksojen ja voimakkaiden sadejaksojen) voimistumista. Keväisten hallaöiden takia koko vuoden siementuotto on vaarassa tuhoutua (Lesica & Kittelson 2010). Keväisen kukinnan varhaistuminen voi tulla ongelmaksi pölytysrajoitteisilla lajeilla, joiden siementuoton edellytyksenä on pölyttävien hyönteisten esiintyminen kukinta-aikaan. Tällainen on esimerkiksi neidonkenkä (*Calypso bulbosa*), jota pölyttävien pelto- ja pensaskimalaisten yksilömäärät todettiin Kuusamossa vähäisiksi (Wannas 2009). Jos kukinta tapahtuu liian varhain, pölyttäjiä ei ehkä ole riittävästi tarjolla. Talvehtimisen aloitus voi myös joillain lajeilla venähtää liian myöhäiseksi, jolloin siementuotto voi myös vaarantua. Tämä on ongelmallista etenkin niillä lajeilla, joilla ei ole siemenpankkia tai se on lyhytikäinen (Zhu ym. 2012).

Yhteydet muihin eliöihin: Kasvien ja muiden lajien välillä on monenlaisia riippuvuussuhteita (kasvinsyöjät, kilpailijat, pölyttäjät, vieraslajit ja mykorritsasienet), joiden merkitystä ei tunneta kovin hyvin. Muutoksia esiintymisalueiden sijainneissa voi tapahtua etenkin kasvien ja kasvinsyöjien sekä pölyttäjien välillä (Thuiller ym. 2005). Porolaidunnuksen vaikutukset kasvillisuuteen ovat kahdenlaisia. Laidunnus voi vaikuttaa positiivisesti kasvillisuuteen runsasravinteisilla paikoilla pitämällä kasvillisuuden matalana, mutta toisaalta niukkaravinteisilla paikoilla porojen tallaus ja kulutus voivat olla kasveille haitallista ja köyhdyttää kasvilajistoa (Oksanen & Olofsson 2005; Moen & Lagerström 2008). Lämpötilan ja kosteuden muutosten vuoksi maaperässä tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa lajeille tärkeiden ravinteiden tai mykorritsasienien saatavuuteen.

Lämmön ja kosteuden merkitys: Kasvilajien esiintymistä säätelee yleensä jokin fysiologinen herkkyys esimerkiksi lämpötilan, kosteuden, hiilidioksidipitoisuuden, happamuuden tai suolapitoisuuden suhteen. Erilaiset lämpötilan ja maaperän muutokset voivat joko vahvistaa tai kumota toistensa vaikutuksia. Arktisilla alueilla kosteuden ja ravinteiden on havaittu olevan lämpötilaakin tärkeämpiä tekijöitä. Roudan sulaessa ja ilmaston lämmitessä eteläisen kasviston siirtyminen pohjoiseen



Kuva: Riku Lumiaro

Tunturisopuli (*Lemmus lemmus*).

ja kilpailullisesti vahvojen lajien runsastuminen voi toisinaan olla nopeaa, kasveilla keskimäärin kuitenkin hitaampaa kuin esimerkiksi hyönteisillä.

Lumipeitteellä on suuri merkitys arktisille kasveille. Lumipeitteen vaikutus ilmenee etenkin maaperän pysymisenä kosteana pitkälle kesään sekä kasvillisuuden säilymisenä matalana ja pienipiirteisen avoimena (Niittynen & Luoto 2017; Niittynen ym. 2018). Useimmissa tutkimuksissa lumipeitteen merkitystä ei kuitenkaan ole huomioitu. Tämä johtuu osaltaan siitä, että lumipeitteen vähenemisen merkitystä on hankala ennustaa, koska paikalliset erot talvisissa sademäärissä, lumipeitteen paksuudessa ja säilyvyydessä ovat suuret. Talviaikaisten lumisateiden ennustetaan lisääntyvän Pohjois-Suomessa, mutta lumen sulaminen voi tapahtua nopeasti keväällä lämpötilan noustessa. Lisäksi haihdunta kuivattaa aurinkoisen lämpimillä rinteillä maanpinnan nopeasti. Tällöin lumenviipymissä tai lumen sulamisvesipurojen ympärillä viihtyvät kasvit kärsivät kuivuudesta. Jos talviset sateet tulevat entistä enemmän vetenä, lumi sulaa nopeasti. Suomen eteläosissa tulevaisuuden lumettomat tai vähälumiset talvet voivat olla tuhoisia talviseen lumipeitteeseen sopeutuneille boreaalisille lajeille, sillä keväällä liian varhain kasvuun lähtevät versot ovat alttiita kuivuudelle ja pakkasille.

Lämpötilan nousu voi hyödyttää monen kasvilajin lisääntymistä, koska ne kukkivat paremmin ja tuottavat runsaammin siemeniä lämpimässä kuin viileässä. Lämmön lisääntyessä myös kasviyksilöiden kasvu nopeutuu. Kasvillisuuden lisääntyminen tarjoaa ravintoa muille lajeille, muuttaa routaolosuhteita ja kasvattaa hiilinielua. Lisääntyvä kasvillisuus voi myös aiheuttaa pienilmastollista viilenemistä, mikä vaikuttaa erityisesti kasveista riippuvaisten kasvinsyöjähyönteisten esiintymiseen

ja voi siten hidastaa lämpenemisen vaikutuksia hyönteisyhteisöihin (WallisDeVries & van Swaay 2006).

Kasvukauden aikaisten kuivuusjaksojen yleistyminen voi altistaa herkän sirkkataimivaiheen ääreille olosuhteille. Talvella tapahtuvat äkilliset lämpötilan nousut voivat olla kasveille tuhoisia. Monien uhanalaisten tunturilajien kasvupaikoilla sääolot kuitenkin vaihtelevat suuresti vuosittain ja vuodenajoin jaksittain jo nykyiselläänkin, ja lajit ovat sopeutuneet stressaaviin olosuhteisiin. Norjassa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin useimmilla tunturikasveilla olevan yllättävän laaja-alainen heinäkuun ja tammikuun lämpötilojen sietokyky (Sætersdal & Birks 1997) ja pääteltiin, että kesän maksimilämpötila ja vuodenaikaiset ääriolosuhteet ovatkin kasvien selviytymistä määräävät tekijät.

Lajistomuutokset: Myös lajiyhteisötasolla muutoksia on odotettavissa. Virtanen ym. (2010) havaitsivat ilmastomuutoksen seurauksena lajimäärän lisääntyneen alkuaan niukkalajisissa tunturiympäristöissä, joiden lajisto koostuu matalakasvuisista, hitaasti kasvavista varvuista sekä sammalista ja jäkälistä. Vaikka tällaiset lajit sietävät niukkojen ympäristöolojen aiheuttamaa stressiä, ne eivät kestä rehevöitymistä eivätkä voimakasta kilpailua. Kasvillisuus oli muuttunut aiempaa korkeammaksi, heinä- ja saravaltaisemmaksi sammalten ja jäkälien taantuessa.

Ilmastomuutoksen on todettu edesauttaneen pensaikon leviämistä Fennoskandiassa (Olofsson ym. 2009), ja myös joidenkin lämpöä vaativien lajien, kuten vuorijalavan (*Ulmus glabra*) leviämistä Ruotsin vuoristossa (Moen & Lagerström 2008). Myös varvut todennäköisesti lisääntyvät (Hudson & Henry 2009), ja sarat ja heinät näyttävät menestyvän muita putkilokasveja paremmin (Kapfer ym. 2012; Elmendorf ym. 2012).

Rehevillä paikoilla kilpailu valosta ja hyvä kilpailukyky muiden lajien kanssa ovat tärkeitä tekijöitä. Kasvillisuuden, etenkin varpukasvien, lisääntyminen ja avoimia ympäristöjä vaativien lajien väheneminen on laajalti havaittu ilmiö arktisella alueella (Cornelissen ym. 2001; Elmendorf ym. 2012). Yhdysvalloissa Uuden Englannin suolamailla tehdyssä tutkimuksessa sen sijaan huomattiin, että aiemmin hyvät kilpailulajit ovat ilmaston lämmetessä muuttuneet vähemmän kilpailukykyisiksi (Bertness & Ewanchuk 2002). Kuivuuskaudet, maaperän rapautuminen, tulvat, tai muut äärevät sääilmiöt voivatkin luoda uutta kasvutilaa pohjoisille heikoille kilpailijoille. Sadannan, tulvien ja virtaamien lisääntymisestä voivat hyötyä esimerkiksi jokisuistojen pioneerikasvit. Ruotsissa on ennustettu Pohjanlahteen laskevien suurten jokien virtaamien ja tulvien lisääntyvän, mikä lisää jokirantojen eroosiota, ja tuo lietettä jokisuistoihin (Swedish Commission on Climate and Vulnerability 2007).

Lajien mahdollisuudet säilyä tai siirtyä uusille paikoille: Arvioitaessa kasvien yleisyyttä tarkastellaan globaalia ja kansallista levinneisyyttä. Lajit, jotka nyt jo esiintyvät levinneisyytensä pohjoisrajalla, ovat vaarassa taantua, jos niillä ei ole mahdollisuuksia joko säilyä nykyisillä kasvupaikoillaan tai siirtyä pohjoisemmaksi (Ignatavicius & Toleikiene 2017). Levinneisyydeltään pienelle alueelle rajoittuneiden lajien käyttäytymistä on kuitenkin hankala ennustaa. Maaston pienipiirteisyys voi mahdollistaa lajien säilymisen kasvupaikoillaan pidempään kuin ilmastoennusteiden perusteella voisi odottaa (Niskanen ym. 2017).

Useilla kasvilajeilla geneettisen vaihtelun on havaittu olevan vähäistä levinneisyyden reuna-alueilla ja vähenevän lajin siirtyessä pohjoiseen (Pellissier et al. 2016). Tundralajit ovat usein lisäksi myös pitkäikäisiä ja huonosti suvullisesti lisääntyviä, sekä todennäköisesti hyvin sukusiittoisia (Nordal 1987). Lämmön nousu voi kuitenkin tuoda helpotusta tähän yhdistelmään, sillä lisääntynyt suvullinen lisääntyminen arktisilla alueilla voi lisätä pohjoisten kasvien geneettistä monimuotoisuutta ja helpottaa sopeutumista muuttuviin olosuhteisiin. Suvullinen lisääntyminen voi

olla satunnaista, mutta tapahtuessaan erityisen tehokasta. Geneettisen monimuotoisuuden lisääntyessä voimistuvat populaatiot säilyvät kasvupaikoillaan paremmin ja voivat toimia lähtöpopulaatioina, joista lajit pystyvät levittäytymään uusille paikoille. Pohjoisten kasvien siemenpankin laadusta on vain vähän tietoa, mutta useimmilla kasveilla lienee ainakin lyhytikäinen maaperän siemenpankki.

Siementen leviäminen, eritoten kaukolevinnän mahdollisuus ja maantieteelliset siirtymisesteet, määrittelevät lajin leviämispotentiaalin ja sitä kautta sopeutumiskyvyn. Tuulilevitteiset siemenet leviävät kauemmaksi kuin isot ja raskaat siemenet, jotka putoavat muutamien senttien tai metrien päähän emokasvistaan. Suomessa maantieteellisiä levittäytymisestettä kokevat lähinnä tunturilajit, joiden voi olla vaikea siirtyä kasvamaan pohjoisemmaksi tai korkeammalle. Leviämisestä on myös Pohjanlahden perukassa sukkession alkuvaiheen kasvupaikoilla esiintyvillä ruijanesikkoryhmän (*Primula sibirica*) kasveilla, joille ei ole kasvupaikkoja muualla.

Haavoittuvien lajien tunnistaminen: Koska kasvien tilastollinen tarkastelu ei ollut tässä hankkeessa mahdollista, ei lajien haavoittuvuutta voitu tarkastella samalla tavalla kuin muilla eliöryhmillä. Yksittäisiä lajeja ja niiden haavoittuvuutta on kuitenkin tarkasteltu liitteessä 1. Kirjallisuudessa esitettyjen tutkimustulosten perusteella voidaan olettaa, että yksi ilmastomuutokselle haavoittuvimmista putkilokasviryhmistä Suomessa on pohjoiset tunturilajit, joista monet ovat kalkinsuosijoita.

Tuoreessa, vuonna 2019 julkaistussa uhanalaisuuden arvioinnissa ilmastomuutoksen vaikutuksia tarkasteltiin aiempaa tarkemmin. Vuonna 2010 (Rassi ym. 2010) ilmastomuutos arvioitiin uhkatekijäksi 63 putkilokasvilajille (19,7 % kaikista uhanalaisiksi ja silmälläpidettäväksi arvioiduista kasveista). Niistä kuusi oli luontodirektiivin lajeja. Punaisessa kirjassa 2019 (Hyvärinen ym. 2019) ilmastomuutoksen arvioitiin olevan ensi- tai toissijainen uhka 94 uhanalaiselle tai silmälläpidettävälle putkilokasville, mikä on yli neljäsosa (26,3 %) kaikista uhanalaisista ja silmälläpidettävistä putkilokasveista. Niistä kahdeksan on luontodirektiivin lajeja.

Luontodirektiivin kasveista ilmastomuutoksen vaikutuksille herkimpiä ovat Punaisen kirjan mukaan Perämeren pohjukassa esiintyvät, jääeroosiosta ja maankohoamisesta hyötyvät sukkession alkuvaiheen vesi- ja rantakasvit. Näitä ovat upossarpio (*Alisma wahlenbergii*, 2010 EN, 2019 VU), rönsysorsimo (*Puccinellia phryganodes*, 2010 ja 2019 CR), pohjanpikkusorsimo (*Arctophila fulva* var. *pendulina*, 2010 ja 2019 EN), lietetatar (*Persicaria foliosa*, 2010 ja 2019 EN), ruijannuokkuesikko (*Primula nutans* ssp. *finmarchica*, 2010 VU, 2019 NT) ja nelilehtivesikuusi (*Hippuris tetraphylla*, 2010 EN, 2019 VU). Näiden lisäksi ilmaston lämpeneminen, kuivuuden lisääntyminen ja suojaavan lumipeitteen häviäminen arvioitiin vuonna 2019 uhkatekijäksi kevät kukkija neidonkengälle (*Calypso bulbosa*, 2010 ja 2019 VU) ja pahtojen suojapaikoissa kasvavalle tuoksualvejuurelle (*Dryopteris fragrans*, 2010 ja 2019 NT). Ilmaston lämpeneminen lisää kilpailevien kasvien kasvua, aiheuttaa vesien samentumista sekä pohjien liettymistä ja pimentymistä. Tämä on erityisen haitallista kirkkaiden vesien kasveille, kuten notkeänäkinruoholle (*Najas flexilis*, 2010 ja 2019 EN) ja hentonäkinruoholle (*N. tenuissima*, 2010 ja 2019 EN). Ilmastomuutosta ei kuitenkaan vielä 2019 arvioitu näkinruohojen uhkatekijäksi (Liite 1). Luontodirektiivin raportoinnissa ilmastomuutoksen uhkamiksi arvioituja lajeja on esitelty luvussa 2.2.2.7.

Niskanen ym. (2019) mallinsivat pohjoisten lajien levinneisyyttä ilmaston lämmetessä. Tästä tutkimuksesta voidaan nostaa esille muutamia lajeja, joiden arvioidaan olevan ilmastomuutokselle erityisen haavoittuvia. Mallinnuksen mukaan ilmastomuutos tulee hävittämään niille sopivat kasvupaikat kokonaan tai lähes kokonaan tällä vuosisadalla. Näitä ovat ruijankissankäpälä (*Antennaria nordhageniana*, 2010 VU, 2019 EN), kiirunankello (*Campanula uniflora*, 2010 VU, 2019 CR), hentokatkerö (*Comastoma tenellum*, 2010 ja 2019 EN), tunturikeulankärki (*Oxytropis lapponica*, 2010 ja 2019 CR) ja rikkileinikki (*Ranunculus sulphureus*, 2010 EN, 2019 CR). Ilmastomuutos voi

supistaa myös kylmillä ja avoimilla paikoilla kasvavan rusonädän (*Sabulina rubella*, 2010 ja 2019 VU) kasvustoja.

Ruijankissankäpälä on vain muutamilta paikoilta Pohjois-Norjasta ja Pohjois-Suomesta tavattu kansainvälinen harvinaisuus. Se on sopeutunut kasvamaan vain sulavesien kostuttamilla soraikoilla ja kalkkikankailla. Kiirunankello on kellokasvi, jonka esiintymiseen sekä kesä- että talvilämpötilan nousu vaikuttavat, sillä lajilla on alhainen optimilämpötila ja kapea kesälämpötilojen toleranssi. Laji on erikoistunut vain yhteen elinympäristöön, keskipaljakan kalkkipitoiseen louhikkoon. Hentokatkeron on hyvin harvinainen kalkinvaatija, joka suosii alapaljakan avoimia kasvupaikkoja. Lämpö ja umpeenkasvu uhkaavat lajille tärkeitä lumenviipymiä. Tunturikeulankärki on kalkinvaatija, jonka Suomen ainoa esiintymä on vaarassa hävitä kokonaan elinympäristön umpeenkasvun ja talvilämpötilojen nousun vuoksi. Laji sitoo tyypeä ja vaikuttaa siten ympäröivään kasvillisuuteen lisäämällä ruohojen ja heinien määrää. Lisääntyvät ruohot ja heinät voivat kuitenkin vähitellen tukahduttaa keulankärjet. Myös porolaidunnuksen on todettu vaikuttavan lajiin haitallisesti. Rikkileinikki on kalkinsuosija, jolla on hyvin pieni populaatiokoko ja huono levittäytymiskyky, siemenet varisevat maahan ja niiden itämiskyky on heikko. Rusonätä on hyvin harvinainen ja niukka kasvi Enontekiön suurtuntureilla. Lajin kasvustot ovat välittömästi metsänrajan yläpuolisilla kalkkimaille, joten ilmaston lämpenemisen myötä alueelle mahdollisesti leviävä tunturikoivikko hävittänee useimmat esiintymät.

2.2.2.4.

Lahopuukovakuoriaiset

Lahopuukovakuoriaisista löytyi vain yksi tutkimus, joka käsitteli ilmastonmuutoksen ennustettuja vaikutuksia, ja oli siten sopiva tähän tarkasteluun (Mazziotta ym. 2016). Lahopuukovakuoriaisten esiintymisessä ennustetut muutokset olivat todennäköisemmin positiivisia eteläisillä lajeilla, jotka hyödyntävät aikaisessa lahoamisvaiheessa olevaa puuta tai suurikokoisia puita, erityisesti haapaa (Taulukko 6).

Ennustetut muutokset olivat todennäköisemmin negatiivisia lajeilla, joiden aikuiset esiintyvät aikaisin keväällä tai alkukesällä, hyödyntävät koivua ja elävät äärevässä pienilmastossa (Taulukko 6).

Taulukko 6. Lahopuukovakuoriaisten ennustetut vasteet.

Lajiominaisuus	Positiivinen vaste	Negatiivinen vaste
Uhanalaisuusluokka 2010	NS	NS
Levinneisyyden laajuus etelä-pohjoissuunnassa	NS	NS
Levinneisyyden sijainti etelä-pohjoissuunnassa	Eteläinen sijainti *	NS
Ruumiin pituus	NS	NS
Toukan kehitysaika	NS	NS
Aikuiskauden alkamisaika	NS	Varhainen alkamisaika *
Aikuiskauden pituus	NS	NS
Suurten puiden suosiminen	Suuret puut °	NS
Lahoamisaste	Varhainen lahoamisaste **	NS
Isäntäpuulaji	Haapa ***	Koivu ***
Pienilmasto	NS	Äärevä pienilmasto °

Tilastotesteissä merkitsevyydet on merkitty seuraavasti: NS – ei merkitsevä; ° - 0,10 > p > 0,05; * – p < 0,05; ** – p < 0,01 ja *** – p < 0,001.

Yleistä: Mazziotta ym. (2016) totesivat tutkimuksessaan, että vaikka ilmastonmuutos todennäköisesti tulee lisäämään puiden kasvua ja kuolleisuutta, jolloin lahoppuuta syntyy enemmän, lisääntyvät hakkuut ja kiihtynyt lahoamisprosessi kuitenkin tulevat mitätöimään tämän edun monelta lahoppuulajilta. Toisaalta, mitä enemmän ilmasto lämpenee, sitä enemmän lahoppuuta kuitenkin syntyy eivätkä hakkuut välttämättä lisäänyy samaan tahtiin. Ilmastonmuutos lisää myös erilaisten kuollutta puuta tuottavien luontaisten häiriöiden määrää (Seidl ym. 2017). Tämä hyödyttäisi lahoppuulajeja. Tarkkaa lopputulosta lahoppuulajien levinneisyydelle on kuitenkin vaikea ennustaa, sillä siihen vaikuttavat monet hyvin paikalliset tekijät. Monelle lajille lahoppuun saatavuus ja sen laatu, tai jopa pienilmasto, saattavatkin olla suurilmastoa tärkeämpiä tekijöitä, kun määritellään niiden haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle.

Lahoppuukovakuoriaisilla on tehty jonkin verran korrelatiivisia tutkimuksia lämpötilan vaikutuksista lajien levinneisyyksiin. Esimerkiksi eteläisessä Norjassa ja Ruotsissa tehdyn tutkimuksen tulosten perusteella kesälämpötilojen nousu todennäköisesti hyödyttää muutamia ikivanhoihin, onttoihin tammiin erikoistuneita lahoppuukovakuoriaislajeja, mutta suurempi joukko näistä spesialisteista tulee todennäköisesti kärsimään lisääntyvistä sademääristä (Gough ym. 2015). Keski-Euroopan mittakaavassa tehdyssä tutkimuksessa puolestaan havaittiin, että sekä lämpötila että kuolleen puun määrä vaikuttivat itsenäisesti ja positiivisesti sekä lahoppuukovakuoriaisten kokonaislajimäärään että uhanalaisten lajien lajimäärään. Lisäksi lämpötilalla ja kuolleella puulla havaittiin olevan negatiivinen yhdysvaikutus, mikä viittaa siihen, että lämpötilan kasvu kompensoi lahoppuun vähäistä määrää (Müller ym. 2015). Lämpötilan kasvun positiiviseen vaikutukseen viittaavat myös viimeaikaiset havainnot uhanalaisten kovakuoriaislajien levinneisyysalueiden laajenemisesta (Müller ym. 2015; Hyvärinen ym. 2019).

Aikuisten esiintymisen alkamisajankohta: Lahoppuukovakuoriaisten aikuisten esiintymisen alkamisajankohta ja esiintymisajan kokonaispituus määritettiin kuu-kauden tarkkuudella. Lajien esiintymisajankohdan alku saattaa olla kytköksissä lajin esiintymisajan pituuteen. Aikaisemmin keväällä esiintyvillä lajeilla aikuisten esiintymisaika voi olla kokonaisuudessaan lyhyempi kuin myöhemmin kesällä esiintyvien lajien. Lajit, joilla on lyhyempi aikuisvaihe, voivat olla ilmastonmuutokselle herkempiä, sillä niillä on vähemmän aikaa käytettävissä sopivan elinympäristön löytämiseen kuin pidemmän aikuisvaiheen lajeilla. Lyhyemmän aikuisvaiheen lajit voivat myös olla alttiimpia voimakkaille sään vaihteluille, mikä edelleen heikentää yksilöiden todennäköisyyttä löytää sopivia lisääntymisympäristöjä. Yleensä nämä ”lyhyen aikaikkunan” lajit ovat isokokoisia kovakuoriaisia, joten lentämisen energivaatimukset rajoittavat lentoajan pituutta (Gillespie ym. 2017).

Lahoamisaste: Kovakuoriaisten suosima puu luokiteltiin joko aikaisessa tai myöhäisessä lahoamisvaiheessa olevaksi puuksi. Osa lahoppuulla elävistä lajeista pystyy hyödyntämään vain äskettäin kuollutta, tuoretta lahoppuuta, kun taas toiset lajit tarvitsevat pidemmälle lahonnutta puuta. Yleensä isokokoiset lahoppuukovakuoriaislajit suosivat isoja puita, jotka ovat pitkälle lahonneita, sillä ne mahdollistavat lajien toukille mahdollisimman pitkäaikaisen ja vakaan kehitysympäristön (Gillespie ym. 2017). Ilmaston lämpenemisen myötä puiden kasvaminen kiihtyy ja lahoppuuta syntyy nopeammin, mutta puu myös lahoaa (ja tulee käytetyksi) nopeammin. Puuaineksen laadulla näyttää olevan ilmastoa suurempi vaikutus lahoamiseen: nopeasti kasvaneet talousmetsien puut lahoavat nopeammin kuin hitaasti kasvaneet puut (Venugopal ym. 2016). Lahoppuun kierrosta tulee nopeampaa. Tämä voi vähentää pidemmälle lahonneen puun saatavuutta ja olla haitallista sitä vaativille lajeille, jos puu lahoaa niin nopeasti, ettei se ehdi ylläpitää siinä eläviä kovakuoriaisia. Näiden lajien pitäisi löytää uutta, pidemmälle lahonnutta puuta nykyistä useammin. Toisaal-

ta uutta lahoppuuta ennustetaan syntyvän aiempaa enemmän ilmaston lämmetessä mm. myrskytuhojen lisääntymisen vuoksi, mikä suosii tuoreella lahoppuulla eläviä lajeja (Gregow ym. 2012).

Puulaji: Tässä tarkasteltujen kovakuoriaislajien hyödyntämiä puulajeja olivat haapa, koivut, kuusi ja mänty. Ilmaston lämmetessä lehtipuiden ennustetaan runsastuvan (Kellomäki ym. 2008), joten niitä suosivien lahoppuulajienkin voisi olettaa menestyvän. Mazziotta ym. (2016) kuitenkin totesivat tutkimuksessaan, että metsätalouden ulkopuolisissa metsissä mm. rauduskoivun lahoamisprosessi nopeutuu niin paljon, ettei se välttämättä hyödytä koivulla eläviä lahoppuulajeja. Kuusen lahoamisprosessi sen sijaan on hitaampi, joten sitä suosivilla lajeilla on ilmaston lämmetessäkin sopivaa elinympäristöä pidemmän aikaa tarjolla. Metsätalouksella sijaitsevilla metsissä sen sijaan lahoppuuta muodostuu ylipäättään vähemmän eikä kuusella eläville lajeille muodostu vastaavaa etua. Nopeakasvuisena puulajina haavan voidaan odottaa sopeutuvan hyvin ilmastonmuutokseen. Lisäksi haapayksilöiden välillä esiintyy huomattavaa geneettistä vaihtelua, mikä osaltaan edistää sopeutumista ilmastonmuutokseen (Nissinen 2017). Mahdollinen selitys sille, että haavalla elävä lahoppuulajisto hyötyy koivulla elävää lajistoa enemmän ilmaston lämpenemisestä on se, että haavan lajistosta on suurempi osuus eteläistä kuin koivulla (Hyvärinen ym. 2019, Korhonen ym. 2019).

Levittäytymiskyky: Mazziotan ym. (2016) tutkimuksessa nostettiin myös esille lahoppuulajien levittäytymis- ja kilpailukykyyn vaikutus lajien haavoittuvuuteen. Vaikka uutta lahoppuuta syntyisikin enemmän, moni lahoppuulaji on huono levittäytyjä, joten uutta sopivaa elinympäristöä voi olla vaikea saavuttaa. Ne lajit, jotka pystyvät levittäytymään uusille alueille muodostavat uudenlaisia eliöyhteisöjä. Toisaalta, uudessakaan eliöyhteisössä ei välttämättä pärjää, jos on heikko kilpailija. Uudenlaisia kilpailusuhteita ja sitä kautta lajien häviämistä voi olla vaikea ennustaa. On myös mahdollista, että negatiivisten muutosten jälkeenkin moni lahoppuulaji sinnittelee vielä vuosikautia paikallisesti, vaikka mitään mahdollisuuksia siirtymiseen uudelle alueelle ei ole. Tällöin paikallinen lajien monimuotoisuus saattaa näennäisesti vaikuttaa korkealta mutta pidemmällä aikavälillä populaatio katoaa vääjäämättä (nk. sukupuuttovelka).

Haavoittuvien lajien tunnistaminen: Kun lahoppuukovakuoriaislajeja tarkastellaan niin, että mukaan valitaan vain lajit, jotka lähtevät liikkeelle huhti- tai toukokuussa, hyödyntävät vain koivua ja jotka suosivat ääreitä pienilmastoja, voidaan seuraavia lajeja pitää ilmastonmuutokselle haavoittuvimpina: kaukosityökykäs (*Conalia baudii*, CR), kääpämikkä (*Neomida haemorrhoidalis*, VU) ja palojahkiainen (*Sphaeriestes stockmanni*, LC).

Lajit, joiden aikuisten esiintymisajankohdan alku on vasta kesäkuussa, voidaan tulkita lievemmin ilmastonmuutokselle haavoittuviksi. Näitä lajeja ovat täplämustakeiju (*Dircaea quadriguttata*, VU), idänkukkajäärä (*Leptura nigripes*, EN) ja isokelokärsäkäs (*Platyrhinus resinosus*, NT).

Kahden lajin osalta aikuisten esiintymisajankohdan alkua ei saatu selville kirjallisuudesta, mutta ne täyttivät muut haavoittuvuuden kriteerit (riippuvuus koivusta ja ääreistä pienilmastoista): kulosirkeinen (*Paranopleta inhabilis*, LC) ja hentokuorihärö (*Silvanus unidentatus*, EN).

2.2.2.5.

Lahoppuusienet

Myös lahoppuusienistä löytyi yksi ennustettuja vaikutuksia käsittelevä tutkimus (Mazziotta ym. 2016). Lahoppuusienien esiintymisessä ennustetut muutokset olivat

Taulukko 7. Lahopuusienten ennustetut vasteet.

Lajiominaisuus	Positiivinen vaste	Negatiivinen vaste
Uhanalaisuusluokka 2010	NS	NS
Levinneisyyden laajuus etelä-pohjoissuunnassa	Suppea alue °	NS
Levinneisyyden sijainti etelä-pohjoissuunnassa	NS	NS
Itiön koko	NS	NS
Itiöemän ikä (kesto)	NS	NS
Riippuvuus muista lajeista	NS	Riippumattomuus **
Suurten puiden suosiminen	Suosiminen *	Karttaminen **
Lahoamisaste	Varhainen *	NS
Isäntäpuulaji	Haapa *	Muut puulajit ***
Pienilmasto	Ei-valikoiva °	Lämmin *

Tilastotesteissä merkitsevyydet on merkitty seuraavasti: NS – ei merkitsevä; ° - 0,10 > p > 0,05; * – p < 0,05; ** – p < 0,01 ja *** – p < 0,001.

todennäköisemmin positiivisia lajeilla, jotka suosivat aikaisessa lahoamisvaiheessa olevia, isoja haapoja ja jotka eivät ole pienilmaston suhteen valikoivia (Taulukko 7).

Ennustetut muutokset olivat todennäköisemmin negatiivisia lajeilla, jotka eivät ole riippuvaisia muista lajeista, välttävät isoja puita, hyödyntävät muita puulajeja kuin haapaa ja, jotka suosivat lämmintä mikroilmastoa (Taulukko 7).

Lahoamisaste ja puulaji: Myös lahopuusienillä puun lahoamisaste ja isäntäpuulaji ovat tekijöitä, jotka määrittävät lajin sopeutumista ilmastonmuutokseen. Pitkälle lahonnutta puuta ja muuta kuin haapaa hyödyntävät lajit voivat olla ilmastonmuutokselle herkkiä. Tuoretta, aikaisessa lahoamisvaiheessa olevaa puuta ja eritoten haapaa hyödyntävät lajit sen sijaan voivat menestyä ilmaston muuttuessa.

Riippuvuus muista lajeista: Lahopuusienilajit luokiteltiin joko muista lajeista riippuvaisiksi tai riippumattomiksi. Kuten monella muullakin lajilla, myös lahopuusienillä riippuvuus muista lajeista voi tehdä niistä ilmastonmuutokselle herkempiä, jos elintärkeän suhteen katketessa korvaavaa kasvupaikkaa ei löydy. Jotkin lahopuusienet vaativat, että puuta on ensin lahottanut jokin toinen sieni. Esimerkiksi sitruunakääpä (*Antrodia citrinella*) esiintyy vain kantokäävän lahottamissa puissa. Tässä tarkastelussa riippuvuuden muista lajeista ei kuitenkaan havaittu lisäävään haavoittuvuutta ilmastonmuutoksen vaikutuksille.

Isojen puiden suosiminen: Lahopuusienilajit luokiteltiin joko isoja (läpimitta yli 30 cm) puita suosiviksi tai niitä karttaviksi. Läpimitaltaan pienellä lahopuulla elävien lahopuusieniyhteisöjen on huomattu eroavan läpimitaltaan suuremmalla lahopuulla elävistä yhteisöistä (Nordén ym. 2004). Pienemmällä puulla on enemmän pinta-alaa suhteessa tilavuuteen ja lahopuusienilajien määrä pinta-ala yksikköä kohden on sitä suurempi mitä pienemmästä lahopuusta on kyse (Heilmann-Clausen & Christensen 2004). Yhteisökoostumuksien eroja on selitetty sillä, että suuremman pinta-ala/tilavuus –suhteen takia pienemmällä lahopuulla on enemmän vaihtelua pienilmastossa per pinta-alayksikkö (Kruys & Jonsson 1999). Pienet oksat oletettavasti esimerkiksi kuivuvat nopeammin kuin kookkaampi lahopuu. Bässler ym. (2010) vertailivat pienellä ja isolla lahopuulla eläviä sieniyhteisöjä ja huomasivat, että pienellä puulla tärkein yhteisöjen koostumusta selittävä tekijä oli pienilmasto, kun taas isolla puulla selittäviä tekijöitä olivat lahopuun määrä ja monimuotoisuus (puulajien, lahoamisasteiden ja läpimitan vaihtelu). Lahopuun läpimitta saattaa siis olla kytköksissä pienilmastoon, jolloin sitä säätelevät tekijät voivat paremmin selittää, miksi pienellä lahopuulla elävät sienilajit saattavat olla herkempiä ilmastonmuutokselle.

Pienilmasto: Lahopuusienet luokiteltiin aurinkoista pienilmastoa suosiviin, varjoa vaativiin tai pienilmaston suhteen neutraaleiksi lajeiksi. Tehokas metsänhoito, kuten kuolleen puun poisto ja toistuvat harvennukset, tekevät metsän latvustosta avoimemman. Latvuston avoimuudesta aiheutuvan auringonvalon lisääntymisen on todettu aiheuttavan muutoksia lämpötilassa ja kosteusolosuhteissa (Chazdos & Fetcher 1984). Riittävä kosteus on ensisijaisen tärkeää lahopuusienille (Rayner & Boddy 1988) mutta erityisen tehokkaasti lisääntynyt lämpö kuivattaa pienempää puuainesta. Lisäksi lämpötilan suuret vuorokausivaihtelut rasittavat sieniä (Heilmann-Clausen 2001). Eri lahopuusienilajien välillä on kuitenkin suuria eroja siinä, miten herkkiä ne ovat auringonvalolle (Griffith & Boddy 1991). Vaihteleva pienilmasto saattaa vaikuttaa voimakkaammin lajeihin, joilla on lyhytikäinen, pehmeä ja ohut itiöemä, kuten esimerkiksi nahakkaisiin, jotka ovat yleisiä lajeja nimenomaan läpimitaltaan pienellä lahopuulla (Berglund ym. 2005). On mahdollista, että avoimen latvuston pienilmasto vaikuttaa ennemmin itiöiden muodostumiseen kuin sienirihmaston (Bässler 2010). Tässä tarkastelussa havaittu yhteys lämpimien pienilmastovaatimusten ja negatiivisen ennustetun ilmastomuutosvasteen välillä saattaa selittyä sillä, että metsien kasvu kiihtyy ja sen myötä varjoisuus kasvaa ilmaston lämmitessä.

Haavoittuvien lajien tunnistaminen: Kun sienilajeja tarkastellaan niin, että mukaan lasketaan vain lajit, jotka eivät ole riippuvaisia muista lajeista, esiintyvät harvoin isoilla puilla ja jotka suosivat aurinkoista pienilmastoa ja muita puulajeja kuin haapaa, nousevat esille seuraavat lajit: liekokääpä (*Gloeophyllum protractum*, VU), keltakerroskääpä (*Perenniporia tenuis*, CR) ja vinopoimukka (*Plicatura crispa*, DD).

Kun mukaan lasketaan myös lajit, jotka suosivat isoja puita, listalle nousee myös salokääpä (*Dichomitus squalens*, VU).

2.2.2.6. Jäkälät

Tässä tarkastelussa oli mukana 13 julkaistua tutkimusta jäkälien havaituista vasteista ja neljä ennustetuista vasteista ilmastomuutokseen (Taulukko 8). Jäkäliden esiintymisessä havaitut muutokset olivat todennäköisemmin positiivisia kasvien pinnalla kasvavilla rupijäkälillä. Millään lajiominaisuudella ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä havaittuihin negatiivisiin vasteisiin.

Jäkäliden ennustetut muutokset olivat todennäköisemmin positiivisia vaarantuneille ja erittäin uhanalaisille lajeille (Taulukko 8).

Yleistä: Jäkäliden herkkyyttä ilmastomuutokselle on vaikea tutkia ja ennustaa. Ilmasto määrittelee ainakin globaalilla tasolla useimpien jäkälien esiintymisen, vaikka jotkut lajit esiintyvätkin hyvin laajalti erilaisissa ilmasto-oloissa. Ilmaston merkityksestä suhteessa muihin ympäristötekijöihin on vaihtelevia tuloksia. Esimerkiksi metsän rakenne voi olla epifyyttijäkälille suurilmastoa merkittävämpi tekijä (Moning ym. 2010). Jäkäliden esiintyminen määräytyykin monesti pienilmaston mukaan, ja monet lajit ovat sopeutuneet erityisiin pienilmasto-oloihin (Gauslaa 2014), kuten sumun hyödyntämiseen. Osassa ilmastomuutostutkimuksista on arvioitu, että eliöiden kokemama pienilmasto saattaa itse asiassa olla viilentynyt, eikä lämmennyt kuten vallitseva suurilmasto (WallisDeVries & van Swaay 2006, Pykälä 2017). Kasvillisuuden korkeus ja peittävyys vaikuttavat suuresti pienilmastoon. Karjan laidunnuksen vähenemisen ja loppumisen sekä rehevöitymisen aiheuttama kasvillisuuden lisääntyminen ovat voineet johtaa maanpinnan kesälämpötilojen, etenkin maksimilämpötilojen, alentumiseen. On siis epäselvää, onko joidenkin lajien kokema ilmasto lämmennyt vai viilentynyt.

Ilmastomuutoksen vaikutuksia jäkäliin on tutkittu melko vähän ja pitkälti keskieuropalaisesta näkökulmasta. Kokeellisissa tutkimuksissa lämpötilan lisäys on

Taulukko 8. Jäkälien havaitut ja ennustetut vasteet.

Lajiominaisuus	Havaitut		Ennustetut	
	Positiivinen vaste	Negatiivinen vaste	Positiivinen vaste	Negatiivinen vaste
Leväosakkaan (<i>photobiont</i>) tyyppi	NS	NS	-	NS
Uhanalaisuusluokka 2010	-	NS	VU, EN ***	NS
Kasvualusta	epifyytti ***	NS	NS	NS
Kasvumuoto	rupijäkälä (<i>crustose</i>) ***	NS	NS	NS
Tutkimuksen tyyppi	NS	NS	-	-

Tilastotesteissä merkitsevyydet on merkitty seuraavasti: NS – ei merkitsevä; ° - 0,10 > p > 0,05; * – p < 0,05; ** – p < 0,01 ja *** – p < 0,001. Uhanalaisluokkien lyhenteet: VU - vaarantunut ja EN – erittäin uhanalainen.

pitkällä aikavälillä vähentänyt jäkäliden osuutta eliöyhteisöissä. Pääsyyinä tähän on pidetty putkilokasvien peittävyuden lisääntymistä kenttäkerroksessa ja pensoittumista tai metsittymistä (Cornelissen ym. 2001). Suhteessa muihin eliöryhmiin jäkälät ovat paremmin kylmyyteen kuin kuumuuteen sopeutuneita. Kohonnut lämpötila saattaa johtaa jäkäliden fotosynteesin ja biomassan vähenemiseen, mikä voi kuitenkin myös johtua ilman kosteuden vähenemisestä (Smith ym. 2018). Esimerkiksi boreaalisilla ja arktisilla alueilla jäisten olosuhteiden lisääntyminen yhdistettynä pakkasten vähenemiseen saattaa hävittää useiden maajäkäliden populaatioita (Bjerke 2011). Lisäksi talvilämpötilojen nousu niin, että lämpötila vaihtelee nollan asteen molemmin puolin, vaikeuttaa myös epifyyttijäkäliden talvehtimista, ja nollan lähellä tapahtuva jäätyminen voi tappaa jäkälää (Bjerke 2011). Muutokset talviolosuhteissa saattavat olla osalle lajeista merkittävämpiä kuin muutokset kesäolosuhteissa. Jäkälät ovat kuitenkin ääreviin olosuhteisiin sopeutuneita (Werth 2011), joten ne kestävät hyvin äärilämpötiloja ja kuivuutta (Beckett ym. 2008).

Ilman kosteuden on todettu olevan huomattavalle osalle jäkälää merkittävämpi ympäristötekijä kuin lämpötila (Gauslaa 2014). Kuivuus saattaa johtaa jäkäliden biomassan vähenemiseen (Smith ym. 2018), mutta toisaalta jäkälät pystyvät sopeutumaan kuivempiin oloihin mm. paksuntamalla sekovartta (Johansson 2008). Tutkimustulokset jäkäliden herkkyydestä kohonneen lämpötilan ja kuivuuden suhteen ovat monilta osin ristiriitaisia. Niiden perusteella ei ole mahdollista arvioida, kuinka suurelle osalle lajistosta ja mille lajeille ilmastonmuutoksen suorat vaikutukset ovat uhka.

Hiilidioksidipitoisuuden vaikutuksesta jäkäliden kasvuun on niukasti tutkimusta ja näyttää siltä, että reaktiot pitoisuuksien nousuun ovat hyvin erilaisia eri lajeilla (Green ym. 2008). Saattaa olla, että yleisesti ottaen putkilokasvit pystyvät hyödyntämään lisääntyneen hiilidioksidin jäkälää paremmin lajistosta ja ovat siten kilpailussa etulyöntiasemassa.

Muutamassa seurantatutkimuksessa ilmanlaadun on todettu säätelevän jäkäliden esiintymistä voimakkaasti. Keski-Euroopassa useiden pohjoisten lajien on havaittu viime vuosikymmeninä taantuneen ja eteläisten lajien runsastuneen. Tätä on selitetty paitsi ilmanlaadun (rikki- ja typpilaskeuman) muutoksilla, laidunnuksen loppumisella, vuorten huippujen kovalla kulutuksella turismin lisääntyä, myös ilmaston lämpenemisellä (van Herk ym. 2002). Eritoten kasvien pinnalla kasvavat epifyyttijäkälät näyttäisivät kuitenkin olevan tiukemmin kytkeytyneitä ilmanlaatuun kuin lämpötilaan. Esimerkiksi Puolan Białowieżan metsässä epifyyttijäkäliden ei havaittu viime vuosikymmeninä juurikaan reagoineen ilmaston lämpenemiseen, vaan lajistomuutokset ilmeisesti johtuivat ilmansaasteipitoisuuksien muutoksista (Lubek ym. 2018).

Jäkälilläkin tulevaisuuden ennusteista nousee esille pohjoisten lajien ahdinko. Suomen jäkälälajeista ilmastonmuutokselle herkimpinä voidaan pitää arktisia lajeja, joilla ei ole uutta vastaavaa elinympäristöä, minne siirtyä ilmaston lämmetessä. Ylös tuntureiden rinteitä levittäytyvä pensaikko tai puusto vie niiltä elintilaa. Yhtäältä useimmat tunturijäkälät tuottavat runsaasti itiöitä, joten niillä lienee hyvä leviämispotentiaali. Toisaalta jäkälät ovat yleisesti hitaita kasvamaan, ja yksilöt ovat pitkäikäisiä. Suomessa tehtyjen seurantatutkimusten tulokset viittaavat siihen, että tunturialueiden jäkälien vähentymiseen vaikuttavat negatiivisesti sekä ilmastonmuutos että porojen ylilaidunnus, eikä näitä tekijöitä ole pystytty erottelemaan toisistaan (Vuorinen ym. 2017, Maliniemi ym. 2018).

Ilmastonmuutoksesta mahdollisesti hyötyvä ryhmä voi olla epifyyttijäkälät, joiden esiintymisalueen pohjoisraja myötäilee isäntäpuulajin esiintymisrajaa. Kuitenkin uuden, riittävän iäkkään puuston muodostuminen uusille pohjoisemmille alueille voi viedä pitkän aikaa. Epifyyttijäkäliden herkkyyttä vähentää se, että pääosa niistä kasvaa useammalla isäntäpuulajilla. Moni jäkälälaji vaatii elinympäristökseen nimenomaan vanhaa jalopuuta, ja niiden runsastuminen ilmastonmuutoksen takia voisikin olla monelle jäkälälle hyödyllistä. Jalopuita uhkaavat kuitenkin eräät taudinaiheuttajat, joiden takia uutta iäkästä jalopuuta ei välttämättä kehitykään enempää. Myös ihmisen metsänhoidolliset toimet ovat ratkaisevassa asemassa jalopuiden kannalta. Erityisen tärkeää olisi välttää tällaisen taloudellisesti vähäarvoisen lehtipuun korjuuta energiapuuksi ja hakettamista voimalaitosten polttoaineeksi.

Harvinaisten eteläisten jäkälälajien voisi olettaa hyötyvän ilmaston lämpenemisestä, mutta rehevöityminen, lisääntyvät hakkuut ja muu ihmistoiminta voivat mitätöidä lämpenemisen positiivisen vaikutuksen. Lisäpainetta näille eteläisille lajeille voi aiheuttaa myös Keski-Euroopassa aggressiivisesti lisääntynyt typensuosijalajisto, joka saattaa levitä Suomeenkin. Toisaalta tulokaslajien synnyttämää kilpailutilannetta saattaa kuitenkin helpottaa se, että uuden potentiaalisen lajiston määrä on jäkälissä muihin eliöryhmiin verrattuna suhteellisen pieni. Jäkälälajeista monet ovat habitaattispesialisteja, joilla ilmasto ei ole ensisijaisin rajoittava tekijä. Lisäksi monen lajiesiintymän ympäristön laatu on ihmistoiminnan takia heikentynyt, jolloin levintä näihin melko heikkolaatuisiin paikkoihin ja niissä säilyminen eivät onnistu. Lämpenemisellä voi myös olla negatiivinen vaikutus eteläisiin lajeihin, koska lämpeneminen lisää putkilokasvien kasvua ja vähentää jäkälien elintilaa maassa ja kallioilla. Myös metsissä puiden kasvun lisääntyminen voi vaikuttaa haitallisesti moniin jäkäliin, jotka vaativat valoisia oloja eivätkä siedä voimakasta puiden varjostusta.

Kasvualusta: Jäkälät jaoteltiin kasvualustansa mukaan joko maan, kasvien tai kivien pinnalla kasvaviksi. Maanpinnalla kasvavat jäkälät voivat olla herkempiä ilmastonmuutokselle, jos niitä suojaava lumipeite jää ohueksi ja talven lauhat jaksot yleistyvät. Talven lauhoilla vuorostaan sulava ja jäätyvä vesi voi kuluttaa maanpinnalla kasvavia jäkäliä. Pohjoisen maajäkälille toisaalta porojen laidunnus ja tallaaminen ja toisaalta lisääntyvän kasvillisuuden aiheuttama varjostus voivat aiheuttaa lisäpainetta (ks. Luku 3.6.).

Kasvumuoto: Kasvumuotonsa mukaan jäkälät luokiteltiin rupi-, lehti- ja pensasjäkäliin. Nascimbene ja Marini (2015) totesivat tutkimuksessaan, että rupijäkälät sietävät lehti- ja pensasjäkäliä paremmin korkeampia lämpötiloja. Rupijäkälillä pinta-alan suhde tilavuuteen on pienempi, joten niillä on vähemmän kosteutta haihduttavaa pinta-alaa. Siksi ne kestävät kuivumista paremmin kuin lehti- ja pensasjäkälät, joiden rakenne haihduttaa kosteutta nopeammin.

Uhanalaisuus: Uhanalaisimmat jäkälälajit eivät välttämättä ole ennusteissa ilmastomuutokselle herkimpiä, vaikka ne ovatkin mm. harvinaisuutensa, pienen populaatiokokonsa tai taantumisensa takia luokiteltu nyt uhanalaisiksi. Tässä kirjallisuuskatsauksessa saatu tulos, jonka mukaan erittäin uhanalaisten ja vaarantuneiden jäkälälajien ennustetut levinneisyyksien muutokset olivat todennäköisemmin positiivisempia verrattuna muiden uhanalaisuusluokkien jäkäliin, saattaa johtua siitä, että hyvin harvasta pohjoisesta uhanalaisesta lajista löytyi kirjallisuudesta havaittuja tai ennustettuja muutoksia. Eteläisille uhanalaisille lajeille ennusteet taas olivat pääosin positiivisia. Lisäksi ilmastomuutos ei ole suurimmalle osalle jäkälistä merkittävin uhka. Suomen 1 545 arvioidusta jäkälätaksonista 271 (17,5 %) oli vuoden 2010 arvioinnissa uhanalaisia, ja ilmastomuutos oli listattu ensisijaiseksi uhkatekijäksi näistä 39 (14 %) ja toissijaiseksi uhkatekijäksi 24 (9 %) taksonille, jotka olivat lähes kaikki pohjoisia tunturilajeja (Rassi ym. 2010). Vuoden 2019 arvioinnissa arvioiduista 1944 jäkälätaksonista oli 477 (24,5 %) uhanalaisia (Hyvärinen ym. 2019). Ilmastomuutos oli listattu ensisijaiseksi uhkatekijäksi näistä 32 taksonille (7 %) ja toissijaiseksi uhkatekijäksi 64 taksonille (13 %). Ilmastomuutoksen osuus ensisijaisena uhkatekijänä väheni arviointien välillä, koska porojen ylilaidunnuksen ja keräilyn aiheuttamat uhat kasvoivat arviointien välillä.

Haavoittuvien lajien tunnistaminen: Jäkälien tarkasteltujen lajiominaisuuksien ja havaittujen tai ennustettujen negatiivisten ilmastomuutosvasteiden välillä ei todettu tilastollista yhteyttä. Tämän vuoksi lajien haavoittuvuutta lähestyttiin käänteisesti, poistamalla joukosta lajeja, joiden ominaisuudet liittyivät havaittuihin tai ennustettuihin positiivisiin vasteisiin suhteessa ilmastomuutokseen.

Kun jäkälälajeja tarkastellaan niin, että mukaan otetaan vain maanpinnalla kasvavia lehtimäisiä lajeja, nousevat esille suomutorvijäkälä (*Cladonia squamulosa*, LC); kiiltonahkajäkälä (*Peltigera polydactylon*, LC), joka on yleinen Etelä- ja Keski-Suomessa, pohjoisemmassa harvinainen ja kasvaa kivennäismaalla tai kalliosammalikossa; himmeänahkajäkälä (*Peltigera scabrosa*, LC), joka on Pohjois-Suomessa yleinen, etelämpänä harvinaisempi, maanpinnalla kasvava jäkälä metsä- ja kalliosammalikoissa sekä poronkuppijäkälä (*Solorina crocea*, LC), joka on Tunturi-Lapissa yleinen maajäkälä, muualla Pohjois-Suomessa niukka ja Etelä-Suomesta puuttuva, esiintyen etenkin lumenviipymäpaikoilla, kostealla mineraalimaalla, ohuella kangasturpeella ja sammalilla.

Kun mukaan otetaan myös pensasmaisesti ja kivien päällä kasvavia sekä uhanalaisia jäkäliä, mahdollisesti haavoittuvien lajien lista pitenee esimerkiksi seuraavilla lajeilla: suohirvenjäkälä (*Cetrariella delisei*, LC), maalla kasvava jäkälä, joka esiintyy lähes koko Suomessa, mutta yleisimpänä Pohjois-Suomessa; tunturihyytelöjäkälä (*Rostania ceranisca*, EN), kalkkituntureilla maanpinnalla kasvava jäkälä; tunturikarve (*Allantoparmelia alpicola*, LC), joka on yleinen Pohjois-Lapin tuntureilla, mutta etelämpänä hyvin harvinainen esiintyen avoimilla, karuilla kivipinnoilla tunturipaljakalla; tunturiokajäkälä (*Cetraria aculeata*, LC), joka on yleinen Lapin tuntureilla; isohirvenjäkälä (*Cetraria islandica*, LC), joka on yleinen koko maassa; louhikkotorvijäkälä (*Cladonia amaurocraea*, LC); koreatorvijäkälä (*Cladonia bellidiflora*, LC); haaratorvijäkälä (*Cladonia furcata*, LC) ja palleroporonjäkälä (*Cladonia stellaris*, LC), joka on yleinen maajäkälä koko maassa, erityisesti kuivissa ja karuissa, avoimissa kangasmetsissä, tunturikankailla ja kalliometsissä ja luonnostaan runsain Pohjois-Suomessa, missä sen biomassassa on selvästi vähentynyt porojen ylilaidunnuksen vuoksi.

Edellä mainitut lajit edustavat sellaisia Fennoskandiassa yleisiä lajeja, joiden arvioidaan taantuvan ilmastomuutoksen takia. Ilmastomuutokselle herkimpiä ovat kuitenkin tunturijäkälät, joista huomattavalle osalle ilmastomuutos on uhanalais-tarkastelussa tunnistettu uhkatekijäksi. Muiden luontotyyppien jäkälien herkkyyttä ja herkimpiä lajeja ei nykytiedon perusteella pystytäkään tunnistamaan.

2.2.2.7.

Luonto- ja lintudirektiivien lajit

Luontodirektiivin lajit ovat varsin heterogeeninen joukko 14 eri eliöryhmän lajeja (Nieminen & Ahola 2017). Kaikkiaan Suomessa esiintyy 140 direktiivin liitteissä II, IV ja V olevaa lajia, lajiryhmää tai lajia alemmaa taksonia. Lintudirektiivin tuoreen raportoinnin mukaan Suomessa on 252 luonnonvaraisesti esiintyvää lintulajia. Tässä selvityksessä tarkasteltiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia perhosiin (Luku 2.2.2.2), lahopuukovakuoriaisiin (Luku 2.2.2.4) ja putkilokasveihin (Luku 2.2.2.3) sekä lintuihin (Luku 2.2.2.1), painottaen julkaistujen tutkimusten etsinnässä erityisesti luonto- ja lintudirektiivien lajeja.

Suomi toimitti luontodirektiivin artiklan 17 mukaisen raportoinnin tiedot luontodirektiivin lajien ja luontotyyppien suojelutasosta kaudella 2013–2018 EU:n komissiolle keväällä 2019. Tuloksiin tehtiin komission pyynnöstä joitakin tarkennuksia syksyllä 2019. Arvioinnissa mukana olleista 140 lajista tehtiin 119 raporttia boreaaliselta (BOR), 35 alpiiniselta (ALP) ja viisi Itämeren alueelta (MBAL) (Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus 2019). Luontodirektiivin lajien suojelutason tulokset esitetään liitteessä 2.

Suojelutaso arvioidaan kullakin lajilla osatekijöittäin. Lajeilla arvioitavia osatekijöitä ovat levinneisyys, populaatiokoko, elinympäristö ja tulevaisuudenennuste. Osatekijöiden perusteella tehdään kokonaisarvio suojelutasosta: suotuisa (FV), epäsuotuisa riittämätön (U1), epäsuotuisa huono (U2) tai ei tiedossa (XX). Suotuisiin ja epäsuotuisiin (FV, U1 ja U2) kokonaisarvioihin lisätään kehityssuunta, joka voi olla paraneva (+), heikkenevä (-), vakaa (=), epävarma (u) tai ei tiedossa (x).

Luontodirektiivin raportoinnissa arvioitiin kuhunkin lajiin raportointikaudella (2013–2018) vaikuttaneita *paineita*, joilla on ollut vaikutusta lajien pitkäaikaiseen säilymiseen. *Uhkatekijöinä* arvioitiin lähitulevaisuudessa (kahden seuraavan raportointikauden aikana, 2019–2030) lajien tilaan ja pitkäaikaiseen säilymiseen vaikuttavia tekijöitä. Koska luontodirektiivin raportoinnissa arviointiajanjaksot ovat melko lyhyet, arvioitiin ilmastonmuutos uhkaksi tai paineiksi vain selkeimmissä tapauksissa, tai jos paineesta tai uhkasta oli saatavilla tutkimustietoa. Tämän vuoksi luontodirektiivin raportoinnissa arvioidut paineet ja uhat eroavat jonkin verran uhanalaisuuden arvioinnissa tunnistetuista uhanalaisuuden syistä ja uhkatekijäistä.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia arvioitiin raportoinnissa lähinnä elinympäristön sijainnissa, koossa tai laadussa tapahtuvien muutosten avulla (raportoinnissa käytetty koodi N05), sademäärässä ja kosteudessa tapahtuvien muutosten kautta (N03), kuivumisen (N02) tai lämpötilamuutosten kautta (N01). Joillakin lajeilla paineiksi ja uhkiksi nousivat myös lajien levinneisyydessä tapahtuvat muutokset (N08) sekä biologisten ja ekologisten prosessien eriaikaisuuden lisääntyminen (N06).

Kaikkiaan ilmastonmuutos arvioitiin paineeksi tai uhkaksi 23 luontodirektiivin lajille (Taulukko 9 ja Liite 2). Lähes puolet näistä on putkilokasveja. Muista tässä raportissa käsitellyistä lajiryhmistä ilmastonmuutos arvioitiin luontodirektiivin raportoinnissa paineeksi tai uhkaksi vain perhosille. Ilmastonmuutos on paineena boreaalisella alueella neljällä lajilla, alpiinisella alueella yhdellä lajilla ja Itämeren alueella kolmella lajilla. Tulevaisuuden uhkaksi ilmastonmuutos arvioitiin 17 boreaalisen alueen lajille, viidelle alpiinisen alueen lajille ja neljälle Itämeren lajille.

Kasvit

Ilmastonmuutoksen vaikutuksille herkimmiksi kasveiksi arvioitiin Perämeren pohjukassa esiintyvät, jääeroosiosta ja maankohoamisesta hyötyvät sukkession alkuvaiheen vesi- ja rantakasvit. Näitä ovat upossarpio (*Alisma wahlenbergii*), rönsysorsimo (*Puccinellia phryganodes*), pohjanpikkusorsimo (*Arctophila fulva* var. *pendulina*), lietetatar (*Persicaria foliosa*), ruijannuokkuesikko (*Primula nutans*) ja nelilehtivesikuusi (*Hippuris tetraphylla*). Lisäksi ilmastonmuutos arvioitiin uhkaksi pahtojen suojapaikoissa

Taulukko 9. Eliöryhmittäin sellaisten lajien (taksonien) lukumäärät, joille ilmastonmuutos arvioitiin paineeksi tai tulevaisuuden uhkatekijäksi luontodirektiivin raportoinnissa kaudelta 2013–2018. Sulkeissa kunkin eliöryhmän kaikkien raportoitujen lajien lukumäärät.

Lajiryhmä	Lajimäärä
Putkilokasvit	10 (33)
Kalat	4 (10)
Nisäkkäät	4 (30)
Perhoset	2 (16)
Matelijat	1 (3)
Nilviäiset	1 (5)
Sammalet	1 (17)
Yhteensä	23 (140)

kasvavalle tuoksualvejuurelle (*Dryopteris fragrans*). Näille ilmastonmuutos arvioitiin uhkaksi myös lajien uhanalaisuuden arvioinnissa (Hyvärinen ym. 2019; Luku 2.2.2.3 ja Liite 1).

Koska kriteerit paineiden ja uhkien määrittämiseksi ovat luontodirektiivin raportoinnissa ja lajien uhanalaisuuden arvioinnissa erilaiset, myös ilmastonmuutoksen uhkaamien lajien joukko on näissä arvioinneissa erilainen. Edellä mainittujen lisäksi luontodirektiivin raportoinnissa arvioitiin, että ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset lämpötilassa ja kosteudessa voivat lähitulevaisuudessa olla uhkana myös yhdellä Oulangan kalkkikalliolla kasvavalle pohjankehtoailakille (*Silene involucrata* ssp. *tenella*). Myös merenrannoilla kasvaville pikkunoidanlukolle (*Botrychium simplex*) ja perämerenketomarunalle (*Artemisia campestris* ssp. *bottnica*) ilmastonmuutoksen arvioitiin olevan uhka lähitulevaisuudessa.

Perhoset

Ilmastonmuutos raportoitiin uhkaksi tundrasinisiivelle (*Agriades aquilo*) ja sekä paineeksi että uhkaksi kääpiöhopeatäplälle (*Boloria improba*). Tundrasinisiipi esiintyy muutamilla hyvin rajatuilla alueilla Enontekiön Käsivarren kalkkivyöhykkeellä. Sen esiintymisessä tai populaatioiden koossa ei ole vielä tapahtunut muutoksia, mutta ilmastonmuutos voi vaikuttaa sen esiintymiseen lähitulevaisuudessa. Kääpiöhopeatäplä esiintyy Suomessa korkeimmilla tunturien lakialueilla, ja sen jo havaitun taantumisen (Välimäki 2017) arvioitiin liittyvän ilmastonmuutoksen aiheuttamaan lämpenemiseen. Elinympäristön muutoksen lisäksi sateisuuden ja pilvisyyden lisääntymisellä saattaa olla vaikutusta lajin pitkäaikaiseen säilymiseen.

Muista luontodirektiivin perhosista useimmat ovat eteläisiä, ja niiden sekä paineet että uhkatekijät liittyvät ilmastonmuutoksen sijasta ennemminkin biotooppien määrän ja laadun heikkenemiseen, erityisesti umpeenkasvuun. Myös kahdella muulla alpiinisella perhosella, ruijannokiperhosella (*Erebia medusa* ssp. *polaris*) ja pohjanvalkotäpläpaksupäällä (*Hesperia comma* ssp. *catena*) uhkat liittyvät umpeenkasvuun. Ruijannokiperhonen on Utsjoen laji, joka esiintyy lähinnä Tenon ja sen sivujokien laaksoissa. Sen pääasialliset uhkatekijät liittyvät niittyjen ja muiden avoimien alueiden umpeenkasvuun. Pohjanvalkotäpläpaksupää on Käsivarren tunturien laji, jonka ainoa populaatio sijaitsee Annjalonjin niittyjuotissa. Umppeenkasvu ja pienen populaation satunnaistekijät ovat luultavasti sen tärkeimmät uhat (Pöyry 2001). Keski-Lapin paksusammalkuusikoissa elävällä pohjanharmoyökkösellä (*Xestia borealis*) ilmastonmuutos arvioitiin yhdeksi uhkatekijäksi vuoden 2019 uhanalaisarvioinnissa (Hyvärinen ym. 2019), mutta sitä ei arvioitu lajin säilymisen kannalta merkitykselliseksi uhkaksi luontodirektiivin raportoinnissa.

Lahopuulajit

Lahopuulajeissa on sekä kovakuoriaisia että sieniä. Luontodirektiivin 15 kovakuoriaisesta 11 on lahopuulajeja. Lahopuulla elävät kovakuoriaiset ovat levinneisyydeltään boreaalisia, useimmat eteläisiä. Ne eivät ole vaarassa joutua väistymään ilmastonmuutoksen vuoksi tai olla vaarassa lähiaikoina kärsiä ilmastonmuutoksesta. Sienet eivät kuulu luontodirektiivin lajeihin.

Direktiivikovakuoriaislajien lajinimillä tehty kirjallisuushaku Web of Science -julkaisutietokannasta tuotti 0–134 artikkelia lajia kohti, mutta suurimmalla osalla lajeista artikkeleita löytyi vain 0–4 – poikkeuksina lahokapo (*Boros scheideri*, 5), korpikolva (*Pytho kolwensis*, 5), isolampisukeltaja (*Graphoderus bilineatus*, 7), punahärö (*Cucujus cinnaberinus*, 23) sekä erakkokuoriainen (*Osmoderma eremita* -ryhmä, 134 (Suomessa esiintyy laji *Osmoderma barnabita*)). Yksikään löydetystä artikkelista ei käsitellyt varsinaisesti ilmastonmuutoksen vaikutusta tutkittuihin lajeihin. Punahäröä käsitellessä artikkeleissa kuitenkin hieman sivuttiin ilmastonmuutoksenkin vaikutuksia: Mazzei ym. (2011) esittivät, että punahärö saattaa olla herkkä ilmastollisille oskillaatioille (sadannan vuosittaiselle vaihtelulle) ja Vrezec ym. (2017) esittivät, että punahäro populaatiot saattavat taantua yhtäällä, mutta kasvaa ja levittäytyä toisaalla ilmastonmuutoksen ja vieraiden puulajien invaasion vuoksi, sillä punahäröllä on ilmeisen hyvä dispersaali- ja kolonisaatiokyky (Horák ym. 2010).

Jäkälät

Jäkälistä poronjäkälät ovat sukutasolla (*Cladonia* sp.) luontodirektiivin liitteessä V. Raportoinnissa arvioidaan käytön vaikutuksia niiden suojelutasoon. Poronjäkälien suojelutaso arvioitiin boreaalisella alueella suotuisaksi, mutta alpiinisella alueella epäsuotuisaksi riittämättömäksi, vakaaksi (U1=) porolaidunnuksen aiheuttaman jäkälikköjen heikentymisen vuoksi. Arvioinnissa ei otettu kantaa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin.

Linnut

Kaikki lintudirektiivin liitteen I lajit ja muut erityistä suojelua vaativat lajit (ns. SPA-triggerit) olivat mukana tämän raportin lajiominaisuuksiin pohjautuvassa analyysissä. Osa lintudirektiivin liitteen I lajeista (46 metsä-, suo-, kosteikko- ja tunturilajia) on ollut mukana ns. suojelullisesti merkittävänä lajeina (*bird species of conservation concern*) tutkimuksissa, joissa on tarkasteltu lintuatlasten perusteella 1974–2010 havaittuja (Virkkala ym. 2014) ja vuosiin 2051–2080 ennustettuja (Virkkala ym. 2013a, 2013b) levinneisyysmuutoksia suhteessa suojelualueverkkoon.

2.3.

Tulosten tarkastelu

2.3.1.

Tulosten kokoaminen

Monella lajilla ilmastonmuutos ei työn pohjana olleen vuosien 2010 (muut eliöryhmät; Rassi ym. 2010) ja 2015 (linnut; Tiainen ym. 2016) uhanalaistarkastelujen perusteella ollut tärkein uhkatekijä vaan esimerkiksi maankäyttöön, ilmanlaatuun tai maamme rajojen ulkopuolisiin uhkatekijöihin liittyvät tekijät olivat usein tärkeämpiä. Tilanne on kuitenkin muuttunut nopeasti, ja vuoden 2019 uhanalaistarkastelussa (Hyvärinen ym. 2019) ilmastonmuutoksen vaikutus on korostunut useissa eliöryhmissä. Ilmastonmuutoksen vaikutusten ennustetaan voimistuvan edelleen, eikä ilmastonmuutoksen ja muiden uhkatekijöiden yhteisvaikutuksia ole tutkittu kaikilla eliöryhmillä kattavasti. Toiset eliöryhmät voivat olla ilmastonmuutoksen vaikutuksille alttiimpia

kuin toiset, ja lajien haavoittuvuuteen vaikuttavat tekijät voivat vaihdella eliöryhmittäin. Eliöryhmien sisälläkään ilmastonmuutoksen aiheuttama uhka ei jakaudu tasaisesti, vaan tiettyjä ominaisuuksia omaavat lajit ovat taantuneet tai tulevat taantumaan ilmastonmuutoksen seurauksena. Pelkkä ilmastonmuutokselle altistuminen ei aina selitä lajien taantumista, sillä voimakkaasti ilmastoltaan muuttuvien alueiden kaikki lajit eivät suoraviivaisesti taannu, ja toisaalta jotkut lajit voivat taantua jo lievän ilmastonmuutoksen alueilla. Siksi ilmastonmuutoksen vaikutusten mekanismeja on tutkittava tarkemmin, ja osa tätä tutkimusta on ilmastonmuutokselle herkkyyttä aiheuttavien lajiominaisuuksien selvittäminen. Tässä tutkimuksessa selvitettiin eliöryhmittäin, mitkä lajiominaisuudet liittyvät todennäköisesti lajien esiintymisessä jo tapahtuneisiin tai ennustettuihin, positiivisiin tai negatiivisiin vasteisiin. Tutkimus ei kuitenkaan selvittänyt lajiominaisuuksien keskinäistä suhteellista merkitystä. Pystymme siis identifioimaan, mitkä ominaisuudet liittyvät jollain tapaa eliöryhmän lajien esiintymisen muutoksiin ja mitkä eivät, mutta emme pysty arvioimaan, mikä tai mitkä lajiominaisuudet selittävät parhaiten tapahtuneita muutoksia.

Päätulokset eliöryhmittäin: Haavoittuvuutta lisääviä tekijöitä olivat linnuilla uhanalaisuus, lyhytikäisyys, pienikokoisuus, pohjoisuus, tunturielinympäristöissä eläminen ja pitkä muuttomatka. Useimmat lajit, jotka arvioitiin näiden lajiominaisuuksien perusteella haavoittuvimmiksi ovat jo nyt uhanalaisia tai silmälläpidettäviä, ja monella ilmastonmuutos on arvioitu uhanalaisuuden syyksi tai tulevaisuuden uhkatekijäksi.

Perhosilla haavoittuvuutta lisääviä tekijöitä olivat pieni koko, harvinaisuus ja taantuva kanta, pohjoispainotteinen levinneisyys, talvehtiminen toukkana, puuvaraiset ja alhaista typpipitoisuutta suosivat ravintokasvit, vähäinen liikkuvuus sekä vähintään yhden tai useamman vuoden mittainen elinkierto. Aineiston aukkoisuus joidenkin lajiominaisuuksien osalta vaikeutti haavoittuvimpien lajien tunnistamista. Tästä huolimatta haavoittuvien joukkoon valikoitui lajeja, jotka asiantuntijat ovat jo aiemmin arvioineet ilmastonmuutokselle herkiksi lajeiksi.

Putkilokasveilla aineiston tilastollinen testaus ei ollut mahdollista, mutta myös tällä eliöryhmällä mm. pohjoisuus, tiettyyn rajattuun elinympäristöön erikoistuminen sekä huono levittäytymis- ja kilpailukyky ovat tekijöitä, jotka saattavat liittyä lajien haavoittuvuuteen ilmastonmuutokselle. Kasveilla tutkimustulokset ovat usein hyvin paikkaan sidottuja, keskenään ristiriitaisia tai epävarmoja, joten ennusteiden tekeminen on vaikeaa. Useat yksittäiset tulokset viittaavat kuitenkin siihen, että ilmastonmuutokselle suorasti tai epäsuorasti herkimpiä lajeja ovat pohjoiset tunturilajit, joista moni on jo nyt arvioitu uhanalaiseksi. Toisaalta monien heinien, sarojen ja pajujen oletetaan menestyvän vahvoina, reheviin ympäristöihin sopeutuneina kilpailijoina ja täten aiheuttavan umpeenkasvua monissa elinympäristöissä.

Lahopuukovakuoriaisilla haavoittuvuutta lisääviä tekijöitä olivat aikuisten esiintyminen aikaisin keväällä tai alkukesällä, koivu isäntäkasvina ja eläminen äärevässä pienilmastossa. Lahopuusienillä haavoittuvuutta lisääviä tekijöitä olivat riippumattomuus muista lajeista, isojen puiden välttäminen, muut puulajit kuin haapa isäntäkasveina ja lämpimän pienilmaston suosiminen. Lahopuuta hyödyntävät lajit saattavat toisaalta hyötyä ilmastonmuutoksesta, jos lahopuuta syntyy enemmän puuston ja kuollutta puuta tuottavien häiriöiden lisääntyessä, mutta toisaalta lisääntyvät hakuut ja nopeutuva lahoaminen voivat viedä tämän edun. Ennusteiden tekemistä monelle lahopuulajille vaikeuttaa se, että usealle lajille muut tekijät, kuten lahopuun laatu ja saatavuus, ovat tärkeämpiä tekijöitä kuin ilmasto.

Jäkäliillä mitkään lajiominaisuudet eivät suoraan liittyneet ilmastonmuutokselle haavoittuvuuteen, mutta epäsuorasti voidaan tulkita, että kivien ja maan pinnalla kasvavat lehti- ja pensasmaiset lajit voisivat olla muita haavoittuvimpia. Myös jäkäliillä muut tekijät kuin suurilmasto saattavat olla tärkeämpiä levinneisyyttä sääteleviä

tekijöitä. Muun muassa metsien rakenne, ilmansaasteet ja pienilmasto nousevat tutkimuksissa esille tärkeinä jäkälien esiintymistä ensisijaisesti säätelevinä tekijöinä.

Päätulokset lajiominaisuuksittain: Lajin esiintymisalueen painottuminen pohjoiseen lisää lajien haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle, koska pohjoisessa lajit altistuvat suuremmille lämpötilan muutoksille kuin etelässä. Toisaalta pohjoisten alueiden lajit ovat yleensä hyvin sopeutuneita vaihteleviin sääolosuhteisiin ja ääriämpötiloihinkin. Uhkana on, että ne menettävät tämän kilpailuedun, jonka kylmään sopeutuminen on niille mahdollistanut, jolloin etelästä leviävät kilpailukykyisemmät lajit voivat korvata ja osin jopa syrjäyttää ne. Kilpailun kautta tapahtuva toisten lajien syrjäyttäminen koskee lähinnä kuitenkin vain kasveja ja selkärangaisia lajeja. Linnuilla ja perhosilla, mutta myös putkilokasveilla pohjoisuus korostui haavoittuvuutta aiheuttavana tekijänä.

Pohjoisuuteen vahvasti liittyen monet ilmastonmuutokselle herkäät lajit ovat sellaisia, joiden ensisijainen elinympäristö on tunturit. Tunturielinympäristöt tulevat Suomessa muuttumaan voimakkaasti eikä uutta korvaavaa elinympäristöä enää löydy, muutamia Ruotsin ja Norjan korkeampia vuoristoalueita lukuun ottamatta. Monesti tunturilajit ovat myös spesialisteja, esimerkiksi kalkinvaatijoita, jotka ovat hyvin tiukkoja elinympäristövaatimuksissaan. Linnuilla ja kasveilla tunturielinympäristö korostui herkkyyttä aiheuttavana tekijänä.

Elinympäristöissä tapahtuvat muutokset aiheuttavat yksilöille painetta siirtyä uusille suotuisammille elinalueille. Niinpä leviämiskyky saattaa olla tärkeä tekijä, joka selittää lajien esiintymisessä tapahtuvia muutoksia. Perhosilla pieni ruumiinkoko ja siihen liittyvä vähäisempi liikkuvuus korostuivat herkkyyttä aiheuttavina tekijöinä. Myös kasveilla leviämiskykyä ilmentävät ominaisuudet, kuten raskaat, eituulilevitteiset siemenet, nousivat muutamissa tutkimuksissa esille haavoittuvuutta lisäävänä tekijänä. Tunturien putkilokasveilla levittäytymistä uusille alueille voivat estää myös fyysiset maantieteelliset esteet tuntureiden tai vuoristojen välissä.

Elinkierron eri vaiheiden ajoittamiseen, lajien fenologiaan, liittyvät ominaisuudet nousivat esille mm. linnuilla, perhosilla, putkilokasveilla ja lahoppuukovakuoriaisilla. Linnuilla tosin on vielä osin epäselvää, johtuuko kaukomuuttajien kantojen taantuminen esimerkiksi epäsuotuisista muutoksista pesinnän ajoituksessa, talvehtimisalueiden heikkenemisestä vai pitkien muuttomatkojen riskeistä. Putkilokasveilla kukinnan ajoitus, perhosilla talvehtimis- ja lisääntymisstrategiat ja lahoppuukovakuoriaisilla aikuisten esiintymisen ajoitus olivat mekanismeja, jotka ovat vaihtuville ilmasto-oloille herkkiä ja jotka saattavat osaltaan altistaa näiden eliöryhmien lajeja ilmastonmuutoksen negatiivisille vaikutuksille. Perhosilla vain yhden harvinaisen ravintokasvin varassa elävät lajit voivat olla herkempiä ilmastonmuutokselle (Pöyry ym. 2017), vaikka tämä tutkimus ei tukenut tätä aiempaa havaintoa.

Lisääntyneen ravinnekuorman ja ilmaston lämpenemisen yhdessä aiheuttama elinympäristöjen rehevöityminen ja umpeenkasvu saattaa tuottaa ongelmia niukkaravinteisiin oloihin sopeutuneille lajeille. Perhosilla vähätyppisten ravintokasvien suosiminen ja putkilokasveilla niukkaravinteisuuteen sopeutuminen nousivat esille ominaisuuksina, jotka voivat osaltaan tehdä lajeista herkempiä ilmastonmuutokselle.

Lajien pienilmastovaatimuksia tutkimalla saattaa löytää yllättäviäkin ilmastonmuutoksen mekanismeja. Pienilmasto ja siihen liittyvät vaatimukset nousivat esille paitsi lahoppuueliöillä, myös jäkäliä ja putkilokasveja koskevassa kirjallisuudessa. Myös joillain hyönteislajeilla on sama tilanne (WallisDeVries & van Swaay 2006), mutta tässä tutkimuksessa tätä ei selvitetty. On osin epäselvää, onko esimerkiksi joidenkin jäkäälajien esiintymien pienilmasto edes lämmennyt. Päinvastoin, jäkäläesiintymien pienilmasto voi rehevöitymisen ja sitä seuranneen kasvillisuuden peittävyys kasvuun takia olla jopa viilentynyt. Putkilokasveilla lumipeitteen säilyvyys ja paikallinen jakaantuminen ovat tärkeä ekologinen tekijä monelle tunturilajille

(Sonesson & Callaghan 1991; Niittynen ym. 2018), mutta niihin liittyvien muutosten vaikutuksia muuttuvassa ilmastossa on tutkittu vähän.

Eliölajien on sopeuduttava kohonneeseen lämpötilaan ja siitä johtuvaan haihdunnan lisääntymiseen. Esimerkiksi jäkälillä pensasmainen tai lehtimäinen kasvu muoto haihduttaa kosteutta suuren pinta-alan takia enemmän kuin rupimainen kasvu muoto, ja nämä lajiominaisuudet nousivatkin esille ilmastomuutokselle herkistävinä tekijöinä. Putkilokasveilla kosteuden merkitys korostui tunturilajeja koskevissa tutkimuksissa, joissa todettiin lumenviipymien olevan erittäin merkittäviä paikallisia kosteuden ylläpitäjiä, mutta muuttuvassa ilmastossa vaikeasti mallinnettavia ja ennustettavia.

Yhteenveto: Tuloksissa korostuu toisaalta pohjoisten, pitkälle elinympäristöihin sä erikoistuneiden ja huonosti levittäytyvien tunturi- ja suolajien herkkyys, mutta toisaalta on huomattava, että kaikki muutokset lajien esiintymisessä eivät aiheudu ilmastomuutoksesta. Ilmastomuutos voi vaikuttaa yksilöihin ja sitä kautta lajeihin sekä suoraan että epäsuorasti, sekä positiivisesti että negatiivisesti ja eri tavalla eri aikoina ja eri paikoissa. Tämä vaikeuttaa päätelmien ja myös ennusteiden tekemistä. Monen eliöryhmän kohdalla on lisäksi mietittävä, kuvastaako lajien nykyinen esiintyminen hyvin niiden ilmastovaatimuksia. Esimerkiksi jäkälillä varsin suurella osalla lajeista näin ei välttämättä ole. Jäkälillä metsälajien globaali levinneisyys on todennäköisesti suuresti muuttunut, kun Euroopan metsiä on hakattu ja raivattu pelloiksi jo hyvin kauan aikaa sitten. Yleinen johtopäätös siksi on, että syy-seuraussuhteiden selvittäminen vaatii joissakin lajiryhmissä aiempaa perinpohjaisempaa tutkimusta.



Kuva: Juha Pöyry

Kalkkivaikuttainen louhikko
Kuusamossa.

3 Luontotyytit muuttuvassa ilmastossa – havaittuja ja ennustettuja muutoksia

3.1.

Tausta ja tavoitteet

Kaisu Aapala, Sonja Forss, Eija Kemppainen, Tuija Mattsson, Pekka Punttila, Juha Pykälä & Minna Turunen

Ilmastomuutoksella on sekä suoria että epäsuoria vaikutuksia luontotyyteihin, vaikka erilaisten vuorovaikutussuhteiden vuoksi ei useinkaan ole täysin selvää onko kyseessä epäsuora vai suora vaikutus. Lämpötilan nousu, muutokset sateisuudessa, sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen tai merenpinnan nousu voivat aiheuttaa kuivuutta tai tulvia, lisätä vedenpinnan tason vaihteluita, muuttaa tulvarytmiä, lyhentää lumi- tai jääpeitteistä aikaa tai sulattaa ikijäää ja routaa. Nämä kaikki ovat muutoksia, jotka voivat vaikuttaa luontotyyteihin eri tavoin. Näiden abioottisten tekijöiden lisäksi luontotyyteihin vaikuttavat kaikki lajistossa tapahtuvat muutokset. Vaikutus luontotyyteissä näkyy vähitellen, kun lajit reagoivat yksilöllisesti muuttuvaan ilmastoon ja muuttuviin kilpailuolosuhteisiin.

Luontodirektiivin raportoinnissa kaudelta 2013–2018 arvioitiin ilmastomuutoksen aiheuttamia paineita ja uhkia luontotyytipikohtaisesti (Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus 2019; Liite 3). Ilmastomuutos arvioitiin merkittäväksi paineeksi ja/tai tulevaisuuden uhkatekijäksi yhteensä 24 luontotyytelle (Liite 3). Boreaalissa vyöhykkeellä ilmastomuutos arvioitiin paineeksi neljälle sisävesien, kahdelle tunturien ja yhdelle suoluontotyytelle. Ilmastomuutoksen arvioitiin kuitenkin olevan tulevaisuuden uhkatekijä selvästi useammalle boreaalisen vyöhykkeen tyytelle: kuudelle rannikon, viidelle sisävesien, neljälle perinnebiotooppien, kolmelle tunturien ja kolmelle soiden luontotyytelle. Boreaalisten metsien luontotyyteille ilmastomuutoksen ei arvioitu olevan paine- tai uhkatekijä. Alpiinisella vyöhykkeellä ilmastomuutos arvioitiin paineeksi tunturikoivikoille, palsasoille ja lehdoille. Tulevaisuudessa ilmastomuutos tulee arvioinnin mukaan muodostumaan uhkatekijäksi edellisten lisäksi kosteille suurruohoniityille, tunturikankaille, tunturikoivikoille ja tulvametsille.

Luontotyytien uhanalaisuusarvioinneissa ilmastomuutos on otettu huomioon uhanalaisuuden syynä tai tulevaisuuden uhkatekijänä vain niillä luontotyyteillä, joilla vaikutukset ovat jo havaittavissa tai selvästi ennakoitavissa (Raunio ym. 2008; Kontula & Raunio 2018). Vuoden 2018 uhanalaisuusarvioinnissa ilmastomuutoksen tarkastelujen lähtökohdaksi otettiin RCP4.5 -skenaariön ennustama tulevaisuus (Aapala 2018).

Ilmastomuutoksen merkitys luontotyytien uhanalaistumisen syynä ja tulevaisuuden uhkatekijänä oli vuoden 2018 arvioinnissa suurempi kuin edellisessä. Tähän vaikuttaa paitsi ilmastomuutoksen eteneminen myös lisääntynyt tietoisuus sen mahdollisista vaikutuksista. Arvioinnissa ilmastomuutoksen vaikutuksina tarkasteltiin muun muassa ilmaston lämpenemistä, sademäärien lisääntymistä, ää-

rimmäisten sääilmiöiden yleistymistä, merenpinnan nousua ja ilman hiilidioksidipitoisuuden nousua (vain kun erityisiä perusteita vaikutuksille) ja lämpenemiseen liittyviä kasvinryöjälajien (herbivorien) massaesiintymisiä. (Aapala 2018)

Ensimmäisessä arvioinnissa vuonna 2008 ilmastonmuutos oli ensisijainen uhanalaisuuden syy muutamilla tuntureiden ja pohjoisten soiden luontotyypeillä (jotkin lumenviipymätyypit, lumenpysymät, routarämeet ja palsasuot) (Raunio ym. 2008). Toisessa arvioinnissa kymmenen vuotta myöhemmin ilmastonmuutos mainitaan uhanalaistumisen yhtenä syynä 37 luontotyyppillä, joista valtaosa on tunturiluontotyyppejä, mutta myös yksittäisiä Itämeren, sisävesien, soiden ja perinnebiotoppien luontotyyppejä. Tulevaisuuden uhkatekijänä ilmastonmuutos mainittiin ensimmäisessä arvioinnissa yli 70 luontotyyppillä eli noin viidenneksellä kaikista tarkastelluista luontotyypeistä. Toisessa arvioinnissa se on mainittu yhtenä tulevaisuuden uhkatekijänä yli 150 luontotyyppillä eli noin 40 %:lla arvioiduista. (Aapala 2018)

Ilmastonmuutos on merkittävä, mutta vaikeasti ennustettava uhkatekijä, jonka luontotyyppikohtaiset vaikutukset ovat vielä pääosalla luontotyypeistä suurelta osin epävarmoja tai kokonaan tuntemattomia. Tämän työn tavoitteena oli muodostaa kirjallisuuteen perustuva tilannekuva ilmastonmuutoksen aiheuttamista havaituista tai ennustetuista muutoksista luontotyypeissä.

3.2.

Aineisto ja menetelmät

Kaisu Aapala, Sonja Forss, Eija Kemppainen, Tuija Mattsson, Pekka Punttila, Juha Pykälä & Minna Turunen

Tässä raportissa esitettävä katsaus noudattaa väljästi luontodirektiivin liitteen I Suomessa esiintyvien maaympäristön ja sisävesien luontotyyppien mukaista luokittelua. Tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta juuri luontodirektiivin mukaisiin tyypeihin oli saatavissa vaihtelevasti, joten tarkkuus vaihtelee luontotyyppiryhmittäin.

Luontotyyppejä ja ilmastonmuutosta käsitteleviä julkaisuja etsittiin systemaattisesti pääasiassa Web of Science-julkaisutietokannasta ja Google Scholar -tietokannasta. Hakusanoina käytettiin luontotyyppin luontodirektiivin mukaista englanninkielistä nimeä tai osaa siitä yhdistettynä "climat* change" hakutermiin. Jos haku ei tuottanut tuloksia, sitä yleistettiin ja käytettiin hakusanana esimerkiksi luontotyyppiryhmän nimeä, kuten "river* OR stream* OR brook*" ja lisäämäänä "boreal". Kirjallisuushaku kohdennettiin erityisesti borealiselle vyöhykkeelle, mutta jossain määrin käytiin läpi muutakin eurooppalaista sekä arktisen alueen tutkimusta. Tunturiluontotyyppien osalta hyödynnettiin luontotyyppien uhanalaisuuden arviointia varten tehtyä tuoretta ja kattavaa tarkastelua ilmastonmuutoksen vaikutuksista tunturiluontotyypeihin (Turunen ym. 2018). Muista luontotyyppiryhmistä poiketen metsissä tarkasteltiin luontotyyppien sijasta ilmastonmuutoksen myötä voimistuviksi arvioituja abioottisia ja bioottisia häiriöitä ja niiden vaikutuksia metsien rakennepiirteisiin. Julkaisujen ajankohdalle ei asetettu rajoituksia, mutta pääosa tutkimuksista on julkaistu 2000-luvulla.

Rannikon luontotyypit

Kaisu Aapala

Ilmastomuutoksen vaikutuksia Itämeren altaan vesiekosysteemiin on tutkittu paljon (esim. Meier ym. 2012; BACC Author Team 2008; BACC II Author Team 2015), mutta rannikon maaluontotyypit ovat jääneet vähemmälle huomiolle.

Katsaus keskittyy luontodirektiivin rannikkoluontotyyppeihin, joihin on tässä luettu 13 maaluontotyyppiä (Liite 3). Kirjallisuushaku kohdennettiin koko Itämeren alueelle, mutta jossain määrin käytiin läpi muutakin eurooppalaista tutkimusta. Hakusanoina käytettiin kunkin luontotyypin luontodirektiivin mukaista englanninkielistä nimeä tai osaa siitä sekä sanoja ”Baltic” ja ”climat* change” erilaisina yhdistelminä. Joissakin tapauksissa lisättiin hakusanaksi myös ”habitat”, silloin kun haku ei löytänyt nimenomaan luontotyyppiä koskevia artikkeleita. Eniten tutkimustietoa ilmastomuutoksen havaituista tai ennustetuista vaikutuksista on dyyniluontotyypeistä. Muista rannikon luontotyypeistä vastaavaa tietoa on vain vähän tai ei lainkaan.

Rannikon luontotyyppeihin vaikuttavat keskeiset ympäristötekijät ja ilmastomuutoksen mahdolliset vaikutukset niihin

Rannikon luontotyypit muodostavat vaihteluväyhyksen meren ja sisämaan ekosysteemien väliin siten, että molemmat ekosysteemit vaikuttavat niihin. Niinpä ilmastomuutoksen aiheuttamat muutokset mantereella, mutta erityisesti merellä, vaikuttavat myös rannikon maaluontotyyppihin monin tavoin. Sen lisäksi ilmastomuutoksella on myös suoria vaikutuksia rannikon maaluontotyyppihin lämpötilan nousun ja sademäärien muutosten kautta. Ilmaston muuttuminen vaikuttaakin rannikon maaluontotyyppihin monin tavoin, sillä niihin kohdistuu muutospaineita sekä maalta, mereltä että ilmasta.

Merenpinnan korkeus vaikuttaa suoraan rannikon luontotyyppien esiintymiseen ja **merenpinnan nousu** ilmastomuutoksen seurauksena voi vaikuttaa sekä rannikkoluontotyyppien pinta-alaan että niiden laatuun. Jos rantaluontotyypit eivät pysty siirtymän sisämaahan päin, ne voivat hävitä tilan puutteen vuoksi merenpinnan noustessa (van der Meulen ym. 1994). Merenpinnan nousu globaalisti johtuu pääasiassa jäätiköiden sulamisesta, ja se on kiihtynyt viime vuosikymmeninä (IPCC 2019). Ilmastomuutokseen aiheuttamaa suhteellista muutosta merenpinnan korkeudessa on mallinnettu Suomen rannikolle (Johansson ym. 2014). Ennusteissa on otettu huomioon sekä paikallisia (mm. maankohoaminen sekä tuulesta johtuvat muutokset paikallisessa merivedenpinnan korkeudessa) että globaaleja (globaali merenpinnan nousu) merenpinnan korkeuteen vaikuttavia tekijöitä. Ajanjaksolla 2000–2100 suhteellisen muutoksen ennustetaan olevan Suomenlahdella + 29 cm (-22 – +92 cm), Selkämerellä -5 cm (-66 – +65 cm) ja Perämerellä, missä maankohoamisen on voimakkainta, -27 cm (-72 – +28 cm). Merenpinnan nousun myötä maankohoamisen vaikutukset hidastuvat tai estyvät kokonaan.

Itämeren veden laatu vaikuttaa myös rannikon maaluontotyyppien tilaan. Itämeren **suolapitoisuuden muutokset** riippuvat jokien tuomasta makeasta vedestä ja Tanskan salmien kautta tulevista suolapulsseista. Viimeisen sadan vuoden aikana ei ole havaittu selvää trendiä Itämeren suolapitoisuudessa. Ilmastomuutoksen ennustetaan laskevan Itämeren suolapitoisuutta. Pääsyy tähän on lisääntyvä makeaveden valunta. (Takolander ym. 2017 ja viitteet siinä.)

Itämeren **pintavesien lämpötila** on noussut nopeasti viimeisten vuosikymmenien aikana (BACC II Author Team 2015). Ennusteiden mukaan Itämeren pintaveden vuosikeskilämpötilat nousisivat kahdesta-neljään astetta vuosisadan loppuun mennessä. Suurempia muutoksia ennustetaan Itämeren pohjoisosiin Perämerelle ja pienempiä muutoksia eteläisempiin osiin (HELCOM 2013). Esimerkiksi Utössä, josta on noin sadan vuoden säähavaintosarjat, on havaittu ilman ja meriveden pintalämpötiloissa selvä nousu viimeisen 35 vuoden aikana (Laakso ym. 2018). Samaan aikaan jääpeitteinen aika on lyhentynyt noin 50 % (Laakso ym. 2018). Ennusteiden mukaan Itämeren **jääpeite** tulee supistumaan voimakkaasti ja jääpeitteinen aika lyhenemään selvästi vuosisadan loppuun mennessä (BACC II Author Team 2015). Jääeroosio hidastaa ja estää rantojen umpeenkasvua ja jääeroosion väheneminen ilmastomuutoksen seurauksena vaikuttaa siten rannikon luontotyyppeihin (Reinikainen ym. 2018a).

Myös **tuuli- ja aaltoeroosio** ovat merkittäviä rannikon luontotyyppien ylläpitäjiä ja muokkaajia. Ilmastomuutoksen mahdollisesti aiheuttamia muutoksia tuulennopeuksissa tai myrskyisyydessä on kuitenkin vaikea ennustaa.

Ilmastomuutoksen ennustetaan lisäävän Itämeren ravinnekuormaa, koska voimistuvien talvisateiden ennakoitavan huuhtovan valuma-alueelta enemmän ravinteita vesistöihin ja edelleen mereen (Korpinen ym. 2018). Itämeren **rehevöityminen** näkyy rannikon maaluontotyypeissä muun muassa ruovikoitumisena ja umpeenkasvuna (Reinikainen ym. 2018a).

3.3.2.

Ilmastomuutoksen vaikutuksia rannikon luontotyyppeihin

3.3.2.1.

Rantavallit – häviäjiä ja voittajia

Eloperäiset rantavallit koostuvat aallokon erityisesti myrskyjen ja korkean veden aikana rantaan kasaamasta orgaanisesta materiaalista (Reinikainen ym. 2018b). Valleja voidaan tyypitellä sen ainesosan mukaan, jota niissä on vähintään 50 % (Kunttu & Kunttu 2018).

Ilmastomuutoksen vaikutuksista rantavallien luontotyyppiin ei ole tutkittua tietoa, mutta tilannetta voi tarkastella epäsuorasti rantavalleja muodostavien lajien kautta. Rakkohaurusta (*Fucus vesiculosus*) muodostuneet rantavallit ovat eliölajistoltaan monipuolisimpia (Ryttäri ym. 2014). Toinen Suomen rannikolla rantavalleja muodostava mereinen laji on meriajokas (*Zostera marina*) (Reinikainen ym. 2018b). Meriajokasvallit ovat selvästi harvinaisempia kuin hauruvallit, koska meriajokasta esiintyy haurua suppeammalla alueella. Järviruoko (*Phragmites australis*) on puolestaan yleisin rantavalleja muodostavista lajeista. Kaikki edellä mainitut rantavallityypit sisältyvät luontodirektiivin luontotyyppiin rantavallit (1210).

Itämeren makrolevien, kuten rakkohaurun, vasteita ilmastomuutokseen on tarkasteltu tuoreessa kirjallisuuskatsauksessa (Takolander ym. 2017). Sen mukaan ilmastomuutos voi muuttaa makroleväekosysteemien rakennetta ja toimintaa, erityisesti Itämeren pohjoisosissa. Ilmastomuutoksella voi potentiaalisesti olla myös yhteisvaikutuksia rehevöitymisen kanssa.

Kirjallisuuskatsauksen mukaan rehevöityminen on selvästi haitallista rakkohaurulle (Takolander ym. 2017). Sen sijaan vaste ilmastomuutoksen aiheuttamaan lämpenemiseen ja suolapitoisuuden laskuun vaihteli (Taulukko 10). Viidessä tutkimuksessa rakkohauru hyötyi lämpenemisestä, kahdeksassa siitä oli haittaa ja yhden tutkimuksen mukaan rakkohauru sietää lämpenemistä. Laskevaa suolapitoisuutta rakkohauru sietää viiden tutkimuksen tulosten perusteella ja kolmen tutkimuksen mukaan se on haitallista.

Rakkohaurulla voi olla jonkin verran mahdollisuuksia sopeutua laskevaan suolapitoisuuteen, sillä joillakin paikallisilla populaatioilla on havaittu kykyä sopeutua

Taulukko 10. Ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia rantavallien (I210) luontotyyppiin kirjallisuuden perusteella.

Muuttuva ilmastotekijä	Seuraus	Mahdollisia vaikutuksia luontotyyppiin	Lähde
Lämpötilan nousu	Rakkohauru hyötty, kärsii tai sietää. Lievä nousu voi lisätä rakkohaurun kasvua.	Hauruvallien koko tai määrä voi lisääntyä tai vähentyä.	Takolander ym. 2017 ja viitteet siinä
Suolapitoisuuden aleneminen	Rakkohauru sietää tai kärsii. Rakkohaurun yksilöiden koko pienenee ja geneettinen monimuotoisuus vähenee. Rakkohaurun levinneisyysalueen voimakas pientyminen. Meriajokkaan elinympäristöt katoavat Suomen rannikolta.	Hauruvallien koko tai määrä voi säilyä tai vähenee. Hauruvallien koko pienenee tai määrä vähenee. Hauruvallien levinneisyysalue pientyy. Meriajokasvallen esiintymät häviävät.	Takolander ym. 2017 ja viitteet siinä Jonsson ym. 2018 Kallio 2019
Suolapitoisuuden alenemisen ja lämpötilan nousun yhteisvaikutus	Vaihtelua rakkohaurupopulaatioiden ja yksilöiden sietokyvyssä.	Rakkohaurun levinneisyysalueen muutokset vaikuttavat hauruvallien levinneisyyteen. Sopeutumiskykyisiä rakkohaurupopulaatioita, jotka voivat ylläpitää hauruvallia.	Rugiu 2018

alhaisempiin suolapitoisuuksiin kuin aiemmin on arvioitu (Takolander ym. 2017). Yksilöiden koko kuitenkin pienenee suolapitoisuuden laskiessa (Takolander ym. 2017) ja voi sitä kautta vaikuttaa myös hauruvallien kokoon.

Kokeellisessa tutkimuksessa suolapitoisuuden ja lämpötilan muutosten yhteisvaikutuksesta Itämeren rakkohauruun havaittiin, että populaatioiden ja yksilöiden välillä on vaihtelua muutostoleranssissa (Rugiu 2018). Vaikutukset olivat voimakkaimpia rakkohaurun levinneisyysalueen pohjoisosien reunapopulaatioissa, mikä viittaisi siihen, että lajin levinneisyysalue voi siirtyä etelämmäksi ilmaston muuttuessa. Tällä olisi suora vaikutus myös hauruvallien levinneisyysalueeseen. Toisaalta tutkimuksessa havaittu populaatioiden ja yksilöiden välinen vaihtelu sietokyvyssä voi mahdollistaa rakkohaurun sopeutumisen muuttuviin olosuhteisiin, mikä ylläpitäisi myös hauruvallien luontotyyppiä.

Mallintamalla saadut tulokset ilmastonmuutoksen vaikutuksista rakkohaurun levinneisyyteen Itämeren alueella ovat kuitenkin huomattavasti pessimistisempiä (Jonsson ym. 2018). Ennusteiden mukaan rakkohaurulle soveliaan habitaatin määrä tulee pientymään voimakkaasti, lähinnä meriveden laskevan suolapitoisuuden vuoksi. Ennustettu ilmastonmuutos on lisäksi niin nopea, että paikallisesti sopeutuneiden populaatioiden leviämiskyky ei välttämättä riitä. Huonoimman vaihtoehdon mukaan rakkohauru häviäisi laajoista osista Itämeren ennen vuosisadan loppua (Jonsson ym. 2018). Tällä olisi huomattava vaikutus myös hauruvallien luontotyyppiin.

Mallinnustutkimuksessa, jossa tarkasteltiin ilmastonmuutoksen aiheuttaman Itämeren suolapitoisuuden alenemisen vaikutuksia meriajokkaan esiintymiseen, oli tuloksena, että lajin elinympäristöt katoavat Suomen rannikolta kokonaan seuraavan 50 vuoden aikana jo lievimmän suolapitoisuuden muutoskenaarion mukaan (Taulukko 10) (Kallio 2019). Tämä tarkoittaisi, että meriajokasvalli luontotyyppinä häviäisi seuraavan 50 vuoden aikana.

Yleinen trendi ilmaston muuttuessa on lajien leviäminen pohjoiseen. Tästä poikkeava on Itämeren mereisten lajien tilanne, sillä ilmastonmuutoksen seurauksena Itämeren suolapitoisuuden on ennustettu laskevan (Vuorinen ym. 2015), minkä vuoksi lajien levinneisyysalueet siirtyvätkin etelään päin. Näin ollen esimerkiksi rantavallien alatyypeistä hauru- ja meriajokasvallit eivät pysty sopeutumaan ilmastonmuutokseen leviämällä pohjoiseen, koska niiden levinneisyysalue Itämerellä supistuu suolapitoisuuden laskun myötä.

Järviruoko on laajalle levinnyt laji, jolla on kyky kasvaa hyvin erilaisissa olosuhteissa ja sopeutua epäsuotuisiin olosuhteisiin, minkä vuoksi se sopeutunee hyvin myös ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin (Eller ym. 2017). Tämän perusteella myös ruokovallien luontotyyppi tulee menestymään muuttuvassa ilmastossa.

Muutokset Itämeressä vaikuttavat rantavallien muodostumiseen. Direktiiviluontotyyppin Rantavallit (1210) sisällä on odotettavissa erisuuntaisia muutoksia, kun hauru- ja meriajokasvallit taantuvat ja ruokovallit hyötyvät ilmastonmuutoksesta. Itämeren rehevöityminen ja rantalaidunnuksen ja niiton lopettaminen on jo vaikuttanut samansuuntaisesti, koska järviruoko on hyötynyt laidunnuksen vähentymisestä (Reinikainen ym. 2018b). Ilmastonmuutos tulee todennäköisesti vahvistamaan tätä jo käynnissä olevaa kehitystä.

3.3.2.2.

Hiekkarannat ja dyynit

Luontodirektiivissä on Itämeren hiekkarantojen (1640) lisäksi seitsemän dyynityyppiä: liikkuvat alkiovaiheen dyynit (2110), liikkuvat rantakauradyynit (2120), kiinteät, ruohokasvillisuuden peittämät dyynit (2130*), variksenmarjadyynit (2140*), metsäiset dyynit (2180), dyynialueiden kosteat soistuneet painanteet (2190) ja kuivat kanerva- ja variksenmarjadyynit (2320). Hiekkarantoja ja dyynejä tarkastellaan yhtenä luontotyyppiryhmänä, koska vaikutusmekanismit ovat pääasiassa samat. Lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutusten tutkimukset koskevat pääsääntöisesti kokonaisia dyynisysteemejä, ei yksittäisiä dyynityyppejä. Jonkin verran on kuitenkin pelkästään dyynipainanteisiin (2190) liittyvää tutkimusta.

Hiekkarantojen ja rantadyynien muodostumiseen ja kehittymiseen vaikuttaa useita tekijöitä: ilmasto ja rantavoimat (tuuli ja myrskyt, aallot, suolavesipärskeet, jää, sade, kosteus, vesitase, merenpinnan korkeudenvaihtelu), hiekan määrä, laatu ja liikkuvuus, kasvillisuus, rannan morfologia ja maankohoaminen (esim. Hellemaa 1998, Provoost ym. 2011; Jones ym. 2013; Rytteri ym. 2014; Nylén & Luoto 2015; Keijzers ym. 2016; Reinikainen ym. 2018b). Hiekkarannoille ja dyynialueisiin kohdistuu myös voimakas maankäyttöpaine, mikä vaikuttaa niiden luontotyyppeihin (esim. Hellemaa 1998, Koskela 2009; Rytteri ym. 2014; Reinikainen ym. 2018b).

Ilmasto on keskeinen dyynien luontaiseen dynamiikkaan vaikuttavista muuttujista, ja sen vuoksi ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan dyynisysteemeihin. Monet tekijät voivat olla vaikutuksiltaan erisuuntaisia riippuen muutoksen voimakkuudesta (Provoost ym. 2011). Esimerkiksi lämpötilan nousu lisää kuivuutta, jonka seurauksena dyynien hiekka voi lähteä liikkeelle herkemmin. Maltillinen lämpötilan nousu voi puolestaan lisätä kasvien kasvua, mikä vahvistaa dyynien stabiloitumista (Provoost ym. 2011). Muutoksen voimakkuudesta riippuvat erisuuntaiset vaikutukset vaikeuttavat ilmastonmuutoksen vaikutusten ennustamista.

3.3.2.2.1.

Dyynikasvillisuudessa on havaittu muutoksia, mutta kytkentä ilmastonmuutokseen on vielä epävarma

Muutos on osa luontaista dyynialueiden dynamiikkaa. Historiallisesti ilmastomuutujat ovat olleet tärkeitä muutostekijöitä Luoteis-Euroopan rannikon dyynien dynamiikassa viimeisen jääkauden jälkeen. Erityisesti muutokset merenpinnan korkeu-

nessa, lämpötiloissa ja myrskyisyydessä ovat vaikuttaneet dyynialueisiin. (Provoost ym. 2001.)

1900-luvulta lähtien Luoteis-Euroopan dyynialueilla on havaittu paljaan hiekan osuuden ja liikkuvien dyynien vähentyneen ja toisaalta kiinteiden dyynien ja kasvilaisuuden lisääntyneen (Provoost ym. 2011). Muutosten pääasiallisena syynä arvellaan olevan perinteisen maankäytön päättymisen (Provoost ym. 2011).

Havaittuja muutoksia dyyniekosysteemeissä on raportoitu muun muassa Italian itärannikolta, jossa tutkittiin luontodirektiivin dyynihabitaattien kasvilajiston koostumuksessa havaittuja muutoksia viimeisen 20 vuoden aikana. Alkiodyyneillä kasvilajien peittävyys olivat korkeampia ja lämpöä suosivien lajien määrä oli suurempi nykyisin kuin 20 vuotta aiemmin. Muutoksen syytä ei voi tutkimuksen perusteella vahvistaa, mutta tutkijoiden hypoteesi oli, että vuoden keskilämpötilan nousu on voinut lisätä lajien peittävyyttä ja lämpöä suosivien lajien leviämistä. Vaikka maankäyttö on pääasiallinen muutoksia aiheuttava tekijä tutkituilla dyyneillä, eliöyhteisötasolla myös ilmastotekijöillä voi olla tärkeä merkitys. (Del Vecchio ym. 2015.)

Koko Italian rannikkoalueen dyyniyhteisöt kattaneessa tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin kasvilajiston ja dyynihabitaattien muutoksia viimeisen 60 vuoden aikana, ei havaittu kasvillisuuden peittävyyden muutoksissa merkitsevää vaihtelua suhteessa lajien lämpötila- tai kosteuspreferensseihin (Ellenbergin indikaattoriarvo) (Prisco ym. 2016). Toisin sanoen ilmastomuuttajat (lämpötila, kosteus) eivät selittäneet havaittuja muutoksia peittävyydessä. Tässä tutkimuksessa ei siis havaittu lämpöä suosivien lajien merkitsevää lisääntymistä toisin kuin Del Vecchio ym. (2015) tutkimuksessa. Vaikka tutkimuksessa havaittuja habitaattien ja lajien määrän muutoksia ei voida liittää viimeaikaisiin muutoksiin ilmastossa, Prisco ym. (2016) toteavat kuitenkin, että ei voida sulkea pois vaihtoehtoa, että kasvillisuuden ilmastomuutosvasteisiin sisältyisi aikaviive. Myös muut häiriöitä aiheuttavat tekijät voivat peittää alleen ilmastomuutoksen vaikutuksia (Prisco ym. 2016).

Skotlannissa tutkittiin, onko ilmaston lämpeneminen aiheuttanut muutoksia dyynikasvilajien levinneisyydessä kolmen vuosikymmenen aikana. Hypoteesi oli, että ilmastomuutos tulee muuttamaan kasvillisuuden rakennetta, koska kohoavien lämpötilojen vuoksi yksittäisten lajien levinneisyysalueet siirtyvät kohti napoja. Tutkimuksessa inventoitiin uudelleen 89 dyynialuetta noin 34 vuotta edellisen inventoinnin jälkeen. Tavoitteena oli tutkia missä määrin ilmastomuutos (kohonnut lämpötila kesällä ja talvella, lisääntynyt sademäärä) selittäisi lajistossa havaittuja muutoksia. Lajien vetäytymistä kohti pohjoista tai eteläisten lajien runsastumista ei havaittu. Muutokselle herkimmat kasvillisuustyyppit olivat sukkession alkuvaiheen tyypppejä, ja muutosten tulkittiin johtuvan pääasiassa sukkessiosta, ei ilmastomuutoksesta. Skotlannin rannikon dyynikasvillisuuden tulkittiin tämän tutkimuksen perusteella olevan vastustuskykyinen muutokselle, joko sen vuoksi, että kasvillisuus on sitä luontaisesti (karu kasvupaikka, monivuotisia kloonikasveja) tai siksi, että alueiden hoito estää eteläisten lajien vallitsevuuden, tai rajoitukset lajien leviämiskyvyssä estävät eteläisten lajien leviämisen uusille, eristyneille alueille (saaret, toisistaan eristyneet lahdet). (Pakeman ym. 2015.)

3.3.2.2.2.

Ilmastomuutoksen ennustetaan aiheuttavan monenlaisia muutoksia dyynialueille

Ilmastomuutos tulee todennäköisesti vaikuttamaan dyynialueisiin kahdella tapaa: ensiksi ilmastomuutos voi aiheuttaa suoria tai epäsuoria vaikutuksia itse ekosysteemien toimintaan, rakenteeseen tai lajikoostumukseen, toiseksi dyynialueiden pinta-ala voi pienentyä ja luontotyyppien esiintymiä hävitä merenpinnan noustessa ja rantaviivan vetäytyessä (van der Meulen ym. 1994).

Merenpinnan nousun on ennustettu aiheuttavan Britanniassa keskimäärin kahden prosentin vähentymisen dyynialueiden pinta-alassa 20 vuoden aikana (Jones ym. 2013). Jos trendi jatkuu, voi habitaatista hävitä 8 % vuoteen 2080 mennessä.

Ilmasto on tärkein meriveden pinnan korkeutta säätelevä tekijä. Meriveden pinnan korkeudella ja sen muutoksilla on puolestaan vaikutusta dyynien muodostumiseen ja erodoitumiseen (Provoost ym. 2011, Keijsers ym. 2016).

Merenpinnan nousun mahdollisista vaikutuksista rannikon dyynialueisiin on tutkimuksia jo pitkältä ajalta. Carterin (1991) mukaan merenpinnan nousu lisää hiekkaisten ranta- ja dyynialueiden altistumista eroosiolle ja dyynisysteemien epävakautta. Eroosion seurauksena irtoavan hiekan uudelleen sijoittumisessa on paljon vaihtelua, mikä vaikuttaa dyynisysteemin dynamiikkaan. Myös kasvillisuuden vasteella on keskeinen merkitys erodoituvan materiaalin uudelleensijoittumisessa ja dyynialueiden dynamiikassa (Carter 1991). Herkimpiä merenpinnan nousun aiheuttaman lisääntyvän eroosion vaikutuksille ovat alkiodyynit (van der Meulen ym. 1994). Myös hiekkarantojen ekosysteemeille lisääntyvän eroosion aiheuttama habitaatin ja siihen liittyvien eliölajien häviäminen on merkittävä ilmastomuutoksen aiheuttama uhkatekijä tulevaisuudessa (Schlacher ym. 2008).

Hollannin rannikolla tutkittiin merenpinnan nousun vaikutuksia rannikon dyyni-
neihin ja ennustettiin rantaviivan muutoksia ajanjaksolla 1990-2090. Ennusteet perustuivat pitkän aikavälin seurantojen tuloksista tuotettuihin trendianalyysihin. Tarkastelussa oli mukana kolme skenaariota: merenpinnan nousu 0,20 m/vuosisata (nykyisen trendin mukainen), 0,60 m/vuosisata (odotettu trendi) ja 0,85 m/vuosisata (pessimistinen skenaario). Merenpinnan nousun vaikutus rannikon alkiodyyni-
neihin riippui pitkälti siitä, kuinka paljon rannalla on saatavissa hiekkaa. Jos rannalla on riittävästi hiekkaa, merenpinnan nousu saa aikaan dyynien muodostumista. Jos hiekkaa ei ole tai sitä on vain vähän, merenpinnan nousu aiheuttaa eroosiota ja rantaviivan vetäytymistä. Hiekan määrän lisäksi myös aallonkorkeus vaikuttaa dyyni-
neihin. (van der Meulen ym. 1994 ja viitteet siinä.)

Niin ikään Hollannin rannikolla mallinnettiin merenpinnan nousun ja kasvillisuuden kasvunopeuden muutosten vaikutuksia dyynien kehitykseen (Keijsers ym. 2016). Tulosten mukaan merenpinnan nousu oli pääasiallinen dyynien kehitystä määrittävä tekijä ja kasvillisuuden kasvunopeudella oli merkitystä vain simulaatioissa, joissa erittäin voimakas häiriö hävitti kaiken kasvillisuuden. Hiekkaisen ranta-alueen leveydellä voi myös olla merkitystä merenpinnan nousun vaikutusten voimakkuuteen. Mallinnuksen mukaan merenpinnan nousu vaikutti alkiodyynien dynamiikkaan selvimmin kapealla rantavyöhykkeellä. Mitä kapeampi rantavyöhyke oli, sitä aikaisemmassa vaiheessa alkiodyynit alkavat vetäytymään sisämaahan päin. Leveällä rantavyöhykkeellä merenpinnan nousun vaikutukset eivät mallinnuksen mukaan näy alkiodyynien dynamiikassa skenaarion 100 vuoden tarkastelujaksolla. (Keijsers ym. 2016.) Leveämmät dyynialueet ovat siis paremmin puskuroituneita merenpinnan nousua vastaan.

Lyhyellä aikavälillä myrskyt voivat vaikuttaa dyynidynamiikkaan, mikä aiheuttaa poikkeuksia pitkän aikavälin mallinnettuun trendiin. Myrskyjen ajoittuminen tai voimakkuus ei ole ennustettavissa, joten ennusteisiin merenpinnan nousun vaikutuksista sisältyy aina myrskyjen aiheuttamaa epävarmuutta (Keijsers ym. 2016).

Ilmastomuutos voi vaikuttaa dyynialueiden dynamiikkaan myös muuttamalla dyynikasvillisuuden elinolosuhteita. Keskeisessä roolissa ovat tällöin kasvilajien ilmastovaatimukset ja toleranssit (Provoost ym. 2011) (ks. myös Luku 2.2.2.3.). Lämpötilan noustessa lisääntyvä kasvillisuuden kasvu voi suosia dyynien stabiloitumista (van der Meulen ym. 1994; Jones ym. 2013), mutta kesäkuivuuden suurempi esiintymistodennäköisyys ja voimakkaat myrskyt voivat hidastaa tätä kehitystä (Jones ym. 2013). Kuivuuden lisääntyminen voi suosia siihen sopeutuneita syväjuurisia lajeja ja ylipäättään eteläisiä, mantereisia lajeja, ja vastaavasti pohjoiset, mereisemmän

ilmaston lajit voivat taantua (van de Meulen ym. 1994). Myös hiilidioksidipitoisuuden nousu voi lisätä dyynikasvien kasvua, ja siitä erityisesti hyötyvät lajit voivat voimistua, mikä voi vaikuttaa kasvilajikoostumukseen (van der Meulen ym. 1994).

Lämpötilan nousu voi laajentaa eteläisten dyynilajien esiintymisaluetta pohjoiseen, ja vastaavasti pohjoispainotteisten dyynilajien esiintymisalueet voivat kaventua etelärajoiltaan (Vestergaard 1991; Jones ym. 2013). Vestergaard (1991) arvioi, että Tanskan kaakkoisrannikon dyynialueilla kasvukauden pidentyminen yhdessä lisääntyvän kuivuuden kanssa voi muuttaa dyynikasvillisuutta suosimalla kuivuutta sietäviä lajeja ja muuttamalla lajien välisiä fenologisia suhteita. Pidentyvä kasvukausi ja lisääntyvä kuivuus vaikuttavat myös dyynialueiden maaperän kasvuolosuhteisiin lisäämällä karikkeen hajoamisnopeutta ja mineralisaatiota sekä vähentämällä maaperän huuhtoutumista (Vestergaard 1991).

Dyynialueilla pienipiirteiset erot pienilmastossa voivat olla merkittäviä lajien esiintymistä selittävinä tekijöinä, kuten esimerkiksi dyynien eteläsivujen kuivat, kuumat olosuhteet ja pohjoissivujen viileämmät, kosteammat kasvuolosuhteet (Vestergaard 1991). Dyynialueiden pienilmastollinen vaihtelu voi tarjota lajistolle refugioita muuttuvassa ilmastossa.

Maankohoamisrannikon hiekkarantojen kasvilajirunsautta säätelevät primäärisukcession, häiriöiden ja maaperän tuottokyvyn yhteisvaikutukset (Nylen & Luoto 2015). Pitkä sukkessiokehitys, vähäiset häiriöt ja matala tuottavuus on yhdistelmä, joka tuottaa suurimman lajistollisen monimuotoisuuden (Nylen & Luoto 2015). Näistä tekijöistä sukkessioaika, rantavoimiin liittyvät häiriötekijät ja todennäköisesti myös tuottavuus muuttuvat ilmaston muuttuessa, joten todennäköisesti myös hiekkarantojen kasvilajistollisessa monimuotoisuudessa tapahtuu muutoksia.

Ilmastonmuutoksen ennustetaan aiheuttavan merkittäviä muutoksia myös dyynialueiden hydrologiaan (Curreli ym. 2013). Dyynialueiden kosteiden painanteiden (luontodirektiivin luontotyyppi 2190) kasvillisuuden ja maaperän kehitys liittyvät vahvasti dyynialueen pohjavesien hydrologiaan (Curreli ym. 2013). Britannian luoteisrannikolla tutkittiin ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia dyynipainanteiden habitaatteihin (Clarke & Sanitwong Na Ayutthaya 2010). Käyttäen 30 vuoden aikasarjan havaintoja vedenpinnan tason vuodenaikaisesta ja vuosien välisestä vaihtelusta tuotettiin vesitasemalli. Malli ennusti hyvin sekä vuodenaikaista vaihtelua että pidempien kuivien ja kosteiden jaksojen useampien vuosien mittaista vaihtelua. Vesitasemallin avulla simuloitiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia pohjavedenpinnan tasoon vuodesta 2005 vuoteen 2100 käyttäen keskimääräisen emission skenaariota (UKCIP02). Viimeisen 30 vuoden aikana kosteassa painanteessa keskimääräinen talviaikainen vedenpinnan taso on ollut lähellä maanpintaa tai juuri sen alapuolella, muodostaen kostean elinympäristön useimpina vuosina ja tulvivan painanteen neljänneksenä vuosista. Keskimääräisen skenaarion mukaisten ennusteiden mukaan vedenpinnan taso voi laskea 1,5 metriä vuosisadan loppuun mennessä, mutta vuosien välinen vaihtelu säilyy suurena. Kuivat jaksot kuitenkin pidentyvät (tyypillisesti yli 10-15 vuotta) ja kosteita jaksoja on entistä harvemmin. Tällä on vaikutusta sekä dyynipainanteen kasvillisuuteen että eläimistöön ja lajit, jotka eivät pysty selviämään useamman vuoden poikkeuksellisen kuivan kauden yli, eivät todennäköisesti pysty säilymään dyynipainanteissa. (Clarke & Sanitwong Na Ayutthaya 2010.)

Hiekkarantoihin ja dyyneihin tulee kohdistumaan monenlaisia ilmastonmuutoksen aiheuttamia vaikutuksia (Taulukko 11). Valtaosa vaikutuksista kohdistuu luontotyyppien laatuun, mutta etenkin luontotyyppien pienialaisia esiintymiä voi myös hävittää merenpinnan noustessa. Keskeisimpiä muutostekijöitä tämän hetkisen tiedon perusteella vaikuttaisivat olevan lämpötilan nousu ja sen myötä pitenevä kasvukausi, kuivemmat kesät, muutokset vesitaseessa, lisääntyvä myrskyisyys sekä merenpinnan nousu.

Taulukko 11. Ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia hiekkarantojen ja dyynien luontotyypeihin kirjallisuuden perusteella.

Muuttuva ilmastotekijä	Seuraus	Mahdollisia vaikutuksia luontotyyppiin	Lähde
Lämpötilan nousu	Lisääntyvä kuivuus	Dyynikasvillisuudessa kserofyytit menestyvät, mesofyytit taantuvat. Pohjaveden pinnan lasku dyynisysteemisä. Hiekan kuivuminen voi johtaa lisääntyneeseen tuulen mukana kulkevaan hiekkaan, mikä johtaa dyynialueen laajenemiseen ja varhaisen sukkessiovaiheen habitaattien lisääntymiseen.	Vestergaard 1991; Natural England and RSPB 2014
Lämpötilan nousu	Pitenevä kasvukausi	Lajien väliset fenologiset suhteet muuttuvat. Dyynien ravinnetalous muuttuu, kun maaperän huuhtoutuminen vähenee, karikkeen hajotus ja mineralisaatio kiihtyy. Kasvillisuussuksessio kiihtyy (dyynien stabiloituminen). Lämpöä suosivat alkuperäiset ja vieraslajit leviävät. Biomassa lisääntyy. Kasvien kasvu lisääntyy. Maannoksen muodostuminen kiihtyy.	Vestergaard 1991; Provoost ym. 2011; Del Vecchio ym. 2015 (ja viitteet siinä); Jones ym. 2013
Lämpötilan nousu	Lajien levinneisyysalueen muutokset	Eteläiset dyynilajit voivat laajentaa esiintymisalueitaan pohjoiseen. Pohjoiset lajit voivat joutua vetäytymään pohjoisemmaksi. Habitaattien lajikoostumus ja resilienssi muuttuu.	Jones ym 2013; Vestergaard 1991
Lämpötilan nousu ja muutokset sademäärissä (muutos vesitasessa)	Pohjavedenpinnan tason lasku dyynisysteemissä Kuivuminen	Kosteiden painanteiden talviaikaiset kuivat jaksot pidentyvät ja kosteita jaksoja on entistä harvemmin. Dyynipainanteet kuivuvat. Muutokset dyynipainanteiden kasvillisuudessa. Kosteiden painanteiden yhteisöt häviävät. Muutoksia dyynien dynamiikassa.	Clarke & Sanitwong Na Ayutthaya 2010; Currelli ym. 2013; Provoost ym. 2011; Jones ym 2013
Lisääntyvä CO ₂ -pitoisuus	Kasvien kasvun lisääntyminen	Kasvillisuussuksession kiihtyminen (dyynien stabiloituminen).	Carter 1991; Meulen ym. 1994 (ja viitteet siinä); Provoost ym. 2011
Myrskyt Aallot Tuuli	Hiekan liikuminen	Muutoksia dyynien dynamiikassa.	Provoost ym. 2011; Jones ym. 2013
	Merenpinnan nousu	Dyynien muodostuminen ja eroosio. Hiekkaisten ranta- ja dyynialueiden altistuminen eroosiolle lisääntyy. Erodoituvan hiekan uudelleen sijoittuminen muuttaa dyynejä. Nuorien dyynivaiheiden jääminen merenpinnan alle. Dyynisysteemien destabiloituminen. Rantaviiva siirtyä ja dyynihabitaatteja voi hävitä.	Provoost ym. 2011; Carter 1991; Jones ym. 2013

3.3.2.3.

Maankohoamisrannikon primäärisukkesiovaiheen luontotyypit joutuvat ahtaalle merenpinnan noustessa

Luontodirektiivin luontotyyppeihin sisältyy vain yksi maankohoamisrannikon primäärisukkesiovaiheen luontotyyppi, maankohoamisrannikon primäärisukkesiovaiheiden luonnontilaiset metsät (9030*). Luontotyyppiin sisältyy merestä paljastuvan maan metsittymisen vaiheet rannan pensastoista erilaisten metsien sukkesiovaiheiden kautta kangasmetsäksi (Reinikainen ym. 2018b).

Tärkein primäärisukkesiometsien esiintymistä määrittävä ympäristötekijä on maankohoaminen. Luontotyyppiin kuuluvilla kohteilla maankohoaminen on niin nopeaa, että rantapensaiden ja puiden kasvuolot muuttuvat merkittävästi jo paikalla olevien puuyksilöiden eliniän aikana (Reinikainen ym. 2018b). Ilmastomuutoksen seurauksena merenpinta nousee ennusteiden mukaan myös Suomen rannikolla ja sen myötä maankohoamisen vaikutukset hidastuvat tai estyvät kokonaan. Maankohoaminen on voimakkainta Selkämerellä, Merenkurkussa ja Perämerellä ja näillä alueilla arvioidaan maankohoamisen vielä kompensoivan ilmastomuutoksen aiheuttaman merenpinnan nousun. Perämerellä uutta maata vapautuisi tulevaisuudessakin meren alta, mutta aiempaa hitaammin. (Johansson ym. 2014.)

Maankohoamisen vaikutuksen heikentyminen tai kokonaan häviäminen tulee vaikuttamaan metsien lisäksi kaikkiin muihinkin primäärisukkesiovaiheen luontotyyppeihin, kuten pienvesiin, kosteikkoihin, soihin, rantaniittyihin sekä hiekkarantoihin ja dyyneihin. Uutta maata ei enää paljastu merenpinnan alta, eikä primäärisukkesiovaiheen luontotyypeille ole korvaavia alueita. Merenpinnan nousun lisäksi ilmastomuutoksen myötä kohoava lämpötila, pitenevä kasvukausi, muutokset sademäärissä ja sateiden ajoittumisessa tai muutokset jääpeitteessä tulevat todennäköisesti vaikuttamaan myös rannikon primäärisukkesiovaiheen luontotyyppeihin, mutta tästä ei ole tutkimustietoa käytettävissä.

3.3.2.4.

Yleisiä muutosennusteita rannikkoympäristöissä

Edellä käsiteltyjen luontotyyppien lisäksi Luontodirektiivin liitteessä 1 on viisi muuta rannikkoluontotyyppiä: kivikkorannat (1220), harjusaaret (1610), ulkosaariston luodot ja saaret (1620), kasvipeitteiset merenrantakalliot (1230) sekä merenrantaniityt (1630*), joista kasvipeitteiset merenrantakalliot käsitellään kallioiden luontotyyppiryhmässä (ks. Luku 3.8.) ja merenrantaniityt käsitellään nummet, niityt ja pensastot -luontotyyppiryhmässä (ks. Luku 3.5.). Ilmastomuutoksen vaikutuksista kivikkorantoihin, harjusaariin tai ulkosaariston luotoihin ja saariin ei löytynyt tutkimustietoa, mutta yleisiä havaintoja ja ennusteita rannikolla tapahtuvista muutoksista voi soveltaa näihin luontotyyppihin.

Lähimpänä rantaa olevat luontotyyppiesiintymät ovat luonnollisesti altteimpia meressä tapahtuville muutoksille sekä tuuli-, aalto- ja jääeroosiolle. Jos merenpinnan noustessa luontotyyppillä ei ole mahdollisuutta vetäytyä sisämaahan, uhkana voi olla häviäminen. Rannikon alavimmilla alueilla luontotyyppiä voi jäädä veden alle merenpinnan noustessa. Konkreettisin häviämishäly on etelärannikon alavien rantojen luontotyypeille. (Reinikainen ym. 2018a.)

Itämeren alueella on tehty muutamia yleistarkasteluja merenpinnan nousun vaikutuksista rannikon luontotyyppeihin ainakin Tanskassa, Virossa ja Ruotsissa (Vestergaard 1997; Kont ym. 2003; 2008; Ebert ym. 2016).

Tanskan rannikolle ennustetaan 33–46 cm merenpinnan nousua vuoteen 2080 mennessä ilmaston lämpenemisen vuoksi. Tutkimuksessa tarkasteltiin ennustetun merenpinnan nousun mahdollisia vaikutuksia rannikon luontotyyppeihin Tanskan Itämeren puoleisella rannikolla. Rantaniityille merenpinnan nousun odotetaan aiheuttavan kasvillisuusvyöhykkeiden horisontaalista siirtymistä sisämaahan päin ja

pinta-alan pientymistä, riippuen tulvimisen frekvenssin ja keston lisääntymisestä, maa-ainesten kertymistahdista, paikallisesta topografiasta ja sisämaan maankäytöstä. Lisääntyvä aaltoeroosio voi kaventaa niityn merenpuoleisia vyöhykkeitä. Dyynikasvillisuuteen merenpinnan nousu voi vaikuttaa eroosio-/kasautumisprosessien muutosten tai pohjaveden pinnan korkeuden muutosten kautta. (Vestergaard 1997.)

Viron matalat rannikkoalueet ovat alttiita ilmastonmuutoksen aiheuttamalle merenpinnan nousulle, lisääntyville meritulville ja eroosiolle. Rannikkoalueiden herkkyyttä ilmastonmuutoksen aiheuttamalle merenpinnan nousulle tutkittiin seitsemällä erityyppisellä esimerkkialueella. Tarkastelujakso ulottui vuoteen 2100 ja merenpinnan nousua arvioitiin maksimiskenaarion mukaisena (metrin nousu, joka maankohoaminen huomioon ottaen vaihteli 0,9–0,7 metriä). Suurimpia muutoksia rannikon luontotyypeille ennustettiin muun muassa Hiiumaan saarella, jossa arvioiden mukaan 100 % ruovikoista ja 80 % rantaniityistä olisi vaarassa. Alava Matsalun lahden alue on Viron rannikkoalueista herkin merenpinnan nousun aiheuttamille muutoksille. Matsalussa merenrantaniittyjä, tulvaniittyjä ja ruovikoita jäisi merenpinnan alle, mutta niiden arvioitiin myös siirtyvän sisämaahan päin. Tästä huolimatta merenpinnan nousun arvioidaan vähentävän näiden luontotyyppien lajistollista monimuotoisuutta, koska monet harvinaisista lajeista eivät ehkä pysty leviämään uusille alueille, jotka tällä hetkellä ovat lajeille epäsuotuisia viljelysmaita tai nuoria, vähälajisia metsiä. Yleinen johtopäätös tutkimuksen tulosten perusteella oli, että rannikon maaluontotyypit, joko siirtyvät sisämaahan päin, jos se on mahdollista, tai häviävät merenpinnan noustessa. (Kont ym 2003; 2008.)

Ruotsissa tutkittiin minkälaisia vaikutuksia kahden metrin merenpinnan nousulla olisi Gotlannin saaren rannikolla. Tutkimuksessa käytettiin tarkkaa, 2 metrin resoluutioista korkeusmallia ja erilaisia maanpeitteen ja maankäytön paikkatietoaineistoja. Merenpinnan noustessa veden alle jääväksi tulkittiin alueet, jotka korkeusmallin mukaan olivat alle 2 m merenpinnasta. Analyysien perusteella Gotlannin rannikon kosteikoista 7 %, metsistä 1,5 %, suojelualueista 19 %, rantaniityistä 60 %, lintujen pesimäalueista 13 % ja uhanalaisten kasvilajien (rannikko)habitaateista 53 % jäisi veden alle merenpinnan noustessa. (Ebert ym. 2016.)

3.3.3.

Yhteenveto

Rannikon luontotyyppien sijainti kapealla vaihteluvyöhykkeellä meren ja mantereiden välissä tekee niistä haavoittuvia monille ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Sopeutumiskeinoja on vähän, sillä tilaa siirtymiseen on rajallisesti. Sisämaahan päin siirtyminen merenpinnan noustessa voi olla mahdollista, jos olosuhteet ovat otolliset, eikä muu maankäyttö estä siirtymistä. Näin ei yleensä kuitenkaan ole, koska rannikkoalueemme on laajalti intensiivisen maankäytön piirissä. Olosuhteet eivät myöskään välttämättä vastaa rannikon olosuhteita. Rannikon eliöyhteisöjen siirtymistä pohjoiseen ilmaston lämmetessä rajoittaa rannikon päättymisen Perämerelle. Pohjoiseen siirtymistä rajoittaa myös ennustettu Itämeren suolapitoisuuden lasku, mikä vaikuttaa suoraan ainakin hauru- ja meriajokasviallien, mutta myös monien suolaa sietävien tai vaativien rantakasvien sopeutumismahdollisuuksiin ja kilpailutilanteisiin. Maankohoamiseen liittyvän primäärisukessiovaiheen luontotyypeiltä tila voi loppua kokonaan merenpinnan nousun hidastaessa tai estäessä maankohoamisen vaikutukset.

Kaikki rannikon luontotyypit, ruokovalleja lukuun ottamatta, ovat tavalla tai toisella herkkiä ilmastonmuutokselle johtuen erityisesti edellä mainitusta siirtymismahdollisuuksien rajallisuudesta sekä kolmelta suunnalta – maalta, mereltä ja ilmasta – tulevista ilmastonmuutosvaikutuksista. Nykytiedon valossa herkimpiä

ovat rantavallien alatyypit hauru- ja meriajokasvallit, primäärisuknessiovaiheen luontotyypit sekä merenrantaniityt (merenrantaniityt ks. Luku 3.5.4.).

Ilmastomuutoksen lisäksi rannikkoluontotyyppisiin kohdistuu monenlaisia maankäyttöpaineita ja kulutusta. Toisaalta perinteisen maatalouskäytön väheneminen on lisännyt rannikon luontotyyppien umpeenkasvua. Jos ilmastomuutoksen vaikutukset ovat samansuuntaisia maankäytön vaikutusten kanssa, voivat yhteisvaikutukset vahvistaa ja nopeuttaa jo käynnissä olevia muutoksia. Samansuuntaisten muutosvaikutusten vuoksi voi olla vaikea varmuudella osoittaa eri tekijöiden merkitystä.

Itämeren tilaa on seurattu jo pitkään ja sen pohjalta on voitu mallintaa ja ennustaa ilmastomuutoksen vaikutuksia Itämeren altaaseen. Vastaavaa tutkimustietoa tarvittaisiin myös rannikon maaluontotyyppien havaituista tai ennustetuista muutoksista ilmaston muuttuessa. Globaalisti ainutlaatuiselta maankohoamisrannikolta tarvitaan tietoa esimerkiksi siitä, miten ilmastomuutos vaikuttaa maankohoamisrannikon primäärisuknessioon, sen nopeuteen ja laajuuteen ja siitä riippuvaisiin luontotyyppisiin ja lajeihin. Tietoa tarvitaan myös talviolosuhteissa, kuten jääpeitteisen ajan pituudessa ja jääeroosiossa, tapahtuvien muutosten merkityksestä rannikon luontotyypeille. Rannikon luontotyyppien ja lajien yhteistarkastelut muuttuvassa ilmastossa, esimerkiksi Perämeren endeemisten lajien osalta, olisivat myös tarpeen.

3.4.

Sisävedet ja rannat

Kaisu Aapala & Tuija Mattsson

Tämä katsaus keskittyy luontodirektiivin liitteen I sisävesiluontotyyppisiin, joita on kahdeksan (Liite 3). Kirjallisuushaku kohdennettiin erityisesti boreaaliselle vyöhykkeelle, mutta jossain määrin käytiin läpi muutakin eurooppalaista sekä arktisen alueen tutkimusta. Hakusanoina käytettiin aluksi kunkin luontotyyppin luontodirektiivin mukaista englanninkielistä nimeä tai osaa siitä yhdistettynä "climat* change" hakutermiin. Tämä haku ei kuitenkaan tuottanut tuloksia, joten hakua yleistettiin ja käytettiin hakusanoina "boreal", "lake* OR pond*", "river* OR stream* OR brook*" AND "climat* change". Hakuja tehtiin sekä Web of Science -julkaisutietokannasta että Google Scholar -tietokannasta.

Ilmastomuutoksen merkitystä sisävesien luontotyyppisiin vaikuttaviin ympäristötekijöihin sekä yleisellä tasolla sisävesiekosysteemeihin on tutkittu boreaalisella vyöhykkeellä paljon (Luku 3.4.1.). Monien sisävesien lajien tai lajiryhmien mahdollisia ilmastomuutoksesta aiheutuvia levinneisyysmuutoksia on myös mallinnettu (esim. Alahuhta ym. 2011; Domisch ym. 2013; Markovic ym. 2014). Ilmastomuutoksen vaikutuksia luontotyyppisiin on tutkittu lähinnä virtavesissä, mutta järvissä ja lammissa selvästi vähemmän.

Sisävedet ja niiden rannat muodostavat kokonaisuuden, jossa rajanveto eri osien välillä voi olla vaikeaa. Myös tulkinnat ja käytännöt vaihtelevat. Luontodirektiivin sisävesiluontotyyppisiin on tulkittu kuuluvaksi sekä vesi- että rantakasvillisuutta (Airaksinen & Karttunen 2001). Luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa pienen vesien rannat arvioitiin yhdessä vesiluontotyyppin kanssa, mutta järvien ja jokien vesi- ja rantaluontotyypit arvioitiin erikseen (Lammi ym. 2018b). Tässä katsauksessa ei vedetä rajaa veden ja maarannan välille, vaan tarkastellaan ilmastomuutoksen mahdollisia vaikutuksia sekä sisävesien että niiden rantojen luontotyyppisiin.

3.4.1.

Sisävesien luontotyyppeihin vaikuttavat keskeiset ympäristötekijät ja ilmastomuutoksen mahdolliset vaikutukset niihin

Sade ja lämpötila ovat keskeisiä sisävesien luontotyyppeihin vaikuttavia abioottisia ympäristötekijöitä, minkä vuoksi ilmastomuutoksella tulee todennäköisesti olemaan merkittävä vaikutus sisävesien ja niiden rantojen luontotyyppeihin.

3.4.1.1.

Sademäärien ja sateiden jaksottumisen muutoksilla on suora vaikutus sisävesiin

Sateisuus määrittää vesistöjen hydrologisen tilan, joten sateiden määrän ja ajankohdan muutoksilla on merkittävä vaikutus vesistöjen tilaan ja eliöyhteisöihin. Sateisuus vaikuttaa muun muassa vesistöjen vesimäärään, vedenlaatuun, jokien virtaamaan, tulvaherkkyyteen, ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutumiseen vesistöihin sekä veden happipitoisuuteen. Ilmastomuutoksen ennustetaan kasvattavan sadantaa, mikä lisää valuntaa ja virtaamaa. Suurimmat muutokset tulevat kuitenkin tapahtumaan valunnan, virtaaman ja vedenkorkeuden vuotuisessa vaihtelussa (esim. Korhonen 2007; Beldring ym. 2008; Döll & Zhang 2010; Nilsson ym. 2013; Olsson ym. 2015).

Ilmastomuutoksen vaikutus vedenlaatuun riippuu valuma-alueelta tulevien huuhtoumien muutoksesta. Valunnan määrä ja sen ajallinen jakautuminen vaikuttavat ravinteiden huuhtoutumiseen valuma-alueelta. Riski ravinteiden lisääntyneeseen huuhtoutumiseen maaperästä kasvaa. Lämpenevät talvet ja kasvavat sademäärät saattavat lisätä ravinteiden, orgaanisen aineen ja kiintoaineen huuhtoutumista vesistöihin (Delpla ym. 2009; Moss 2012; Räike ym. 2016; Creed ym. 2018) ja muuttaa huuhtoumien vuodensisäistä jakaumaa (Mattsson ym. 2015).

Koko Suomen virtaama-aineistossa ei ole havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia vuoden keskivirtaamassa ajanjaksolla 1912–2004, mutta virtaaman vuodenaikainen vaihtelu on muuttunut. Suurimmat muutokset ovat tapahtuneet talven ja kevään hydrologisissa oloissa: lopputalven ja alkukevään keskivirtaamat ovat kasvaneet ja virtaaman keväthuippu on aikaistunut. Kesävirtaamissa muutoksia on havaittu kumpaankin suuntaan. Koko Suomen virtaama-aineistossa helmi-, maalisi- ja huhtikuun kuukausikeskivirtaamat ovat nousseet tilastollisesti erittäin merkitsevästi ajanjaksolla 1912–2004. Kasvu selittyy talvien ja keväiden lämpenemisellä ja lumen sulamisen aikaistumisella. Kesäkuun keskivirtaama on laskenut tilastollisesti erittäin merkitsevästi ja heinäkuun virtaama lähes merkitsevästi. Lämpötila vaikuttaa virtaamiin epäsuorasti. Kesäisin lämpötilan noustessa haihdunta kasvaa, ja virtaamat pienenevät vedenkorkeuksien aletessa. Talvella nolla-asteen rajan ylitys saa lumen sulamaan, millä on selvä yhteys virtaamaan. (Korhonen 2007; Korhonen ja Kuusisto 2010.)

Ilmastomuutoksen vaikutus tulviin vaihtelee alueellisten ilmasto-olosuhteiden ja valuma-alueiden ominaisuuksien mukaisesti. Euroopassa on havaittu sekä tulvien lisääntymistä että vähentymistä ajanjaksolla 1960–2010. Luoteis-Euroopassa lisääntyneet syys- ja talvisateet ovat lisänneet tulvia, mutta Itä-Euroopassa lämpötilan nousu on vähentänyt lumipeitettä ja aikaistanut lumen sulamista, mikä on vähentänyt tulvia (Blöschl ym. 2019). Vuosisadan loppuun ulottuvissa ennusteissa Länsi(Luoteis)-Euroopassa tulvat lisääntyvät sademäärien kasvaessa, ja Itä- ja Pohjois-Euroopassa tulvat vähenevät lämpötilan noustessa (Blöschl ym. 2017; Blöschl ym. 2019). Suomessa, jossa pääosa tulvista on lumen sulannasta johtuvia kevättulvia, tulvien ennustetaan vähenevän tai pysyvän ennallaan (Veijalainen ym. 2010).

Suomessa vuosittaisessa keskivirtaamassa ennustetut muutokset aikaväliin 2051–2090 mennessä ovat kohtuulliset, mutta virtaaman vuodenaikaisen jakautumisen ennustetaan muuttuvan merkittävästi. Merkittävimpiä muutoksia ovat lisääntyvät

talvivirtaamat, laskevat ja aikaistuvat kevätpiikit sekä pidemmän ja lämpimämmän kesän ja lisääntyneen haihdunnan aiheuttamat pienentyvät kesävirtaamat. Syksyn virtaamien ennustetaan kasvavan Pohjois-Suomessa, mutta pienentyvän Etelä-Suomen runsasjärvisillä valuma-alueilla. (Olsson ym.2015.) Euroopassa suurimmat muutokset ovat odotettavissa talven ja kevään hydrologisissa oloissa (mm. Arnell 1999).

Suomessa vuosivalunnan arvioidaan kasvavan 0–60 % vuoteen 2100 mennessä sadantaskenaariosta riippuen. Etelä- ja Keski-Suomen runsasjärvisillä vesistöalueilla vuosivalunnan arvioidaan pienenevän jonkin verran järvihaihdunnan kasvun myötä. Talvivalunnat kasvavat leudompien ja sateisempien talvien myötä, jolloin lunta sulaa jo talven mittaan ja osa sateista tulee vetenä. Lisäksi talven vähäinen haihdunta voimistaa vaikutusta. Muutokset voivat olla vuoteen 2100 mennessä jopa useita satoja prosentteja nykyhetkeen verrattuna. Jokien talven keskivirtaamat voivat jopa kaksinkertaistua vuoteen 2100 mennessä. Talvitulvat lisääntyvät ja etenkin suurten keskusjärvien – kuten Saimaa, Päijänne ja Näsijärvi – vedenkorkeudet nousevat tavalla nykyistä ylemmäksi. (Suomalainen ym. 2006.)

Keväinen ylivaluntahuippu tulee siirtymään aiemmaksi ja pienenevän talven lumikertymien pienentyessä. Kevättulvat pienenevät etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Etelässä pieneminen voi olla jopa 50 %. Pohjois-Suomessa kevättulvien odotetaan kuitenkin vielä kasvavan muutaman vuosikymmenen ajan lisääntyvän sadannan takia, mutta pienenevän myöhemmin lämpenemisen edetessä. Kesällä valunnat voivat joko kasvaa tai pienentyä, sillä sekä haihdunta että rankkasateiden riski kasvavat. Sadetulvien arvioidaan yleistyvän rankkasateiden kasvun myötä myös kesällä varsinkin pienissä vesistöissä. Toisaalta pidentynyt kesäkausi ja haihdunnan kasvu tuo tullessaan myös kuivien kesien mahdollisuuden etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Pitkällä aikavälillä kesävalunnat tulevat kuitenkin pienenevän. Syysvalunnan muutoksia on vaikeampi arvioida. Kasvu tulee vuoteen 2100 mennessä olemaan 0–70 % riippuen sadannan muutoksista ja edellisen kesän kuivuudesta tai märkytydestä. (Suomalainen ym. 2006.)

3.4.1.2.

Myös lämpötilan nousu vaikuttaa suoraan sisävesien olosuhteisiin

Lämpötilan nousu aiheuttaa muutoksia sisävesien lämpötila- ja jääoloihin. Pintavesien lämpötiloissa ei ole vielä havaittu kovin voimakkaita muutoksia. Kaakkois-Suomessa järvien veden lämpötila on hiukan noussut vuodesta 1924 jatkuneen seuran aikana, mutta Keski- ja Pohjois-Suomessa vastaavaa trendiä ei ole havaittu (Hyvärinen 2003).

Selviä muutoksia on tapahtunut sisävesien jääpeiteajassa, joka on lyhenemässä (Bring ym. 2016; Magnuson ym. 2000; Prowse ym. 2011). Suomessa on pitkiä, aina 1800-luvulle, yksittäistapauksessa jopa 1600-luvulle, asti ulottuvia aikasarjoja joki- ja järvien jäätymisestä ja jäiden lähdöstä (Hyvärinen 2003; Korhonen 2006; 2019). Koko maassa, aivan pohjoisimpia osia lukuun ottamatta, on havaittu merkittävää lyhenemistä järvien jääpeiteajassa 1800-luvulle ulottuvien aikasarjojen perusteella (Korhonen 2006; 2019). Jäiden lähtö on aikaistunut ja jääpeitteen muodostuminen on siirtynyt myöhäisemmäksi (Korhonen 2006; 2019). Jään lähtö Tornionjoessa on aikaistunut kaksi viikkoa verrattuna vuoteen 1693 (Hyvärinen 2003).

Mallinnusten mukaan järvien jääpeiteajan kesto lyhenee edelleen, ja jäiden paksaus vähenee tulevaisuuden lämpenevässä ilmastossa (Forsius ym. 2013; Bring ym. 2016). Myös järvien pintavesien ennustetaan lämpenevän, erityisesti keväällä, ja kesän lämpökerrostuneisuuden kestävä pidempään (Saloranta ym. 2009; Forsius ym. 2013). Myös arktisille ja subarktisille järville ennustetaan myöhempää jäätymistä, aikaisempaa sulamista ja ohuempaa jääkerrosta (Prowse ym. 2011).

Talven sulamis- ja jäätymisjaksojen ennustetaan lisääntyvän Pohjois-Skandinaviassa lämpötilan noustessa (Persson ym. 2007). Tämä voi vaikuttaa virtavesien

jäädynamiikkaan, kuten suppo- tai pohjajään muodostumiseen ja talvitulvien esiintymiseen (Lind & Nilsson 2015).

Vuosien välisen vaihtelun ennustetaan lisääntyvän. Järven fysikaaliset olot, kuten veden lämpötila, virtaukset, sekoittuminen ja kerrostuneisuus riippuvat lähinnä ilman lämpötilan suorasta vaikutuksesta järveen. Myös valuma-alueen muutoksilla on vaikutusta järven oloihin. Fysikaalisten tekijöiden muuttuminen vaikuttaa järven koko ekosysteemiin. Järven pintakerroksen lämpötila kasvaa. Lämpötila taas vaikuttaa veden lämpötilakerrostumiseen, happipitoisuuteen ja eri lajien esiintymiseen, sillä lajeilla on omat lämpötilaoptiminsä. Kesäkerrostuneisuus voimistuu ja sen kesto pitenee. (Magnuson ym. 2000; Moss 2012; Saloranta ym. 2009.)

Sisävesien habitaateista herkimpiä ilmastomuutoksen suorille vaikutuksille, erityisesti lämpötilan nousulle, ovat arktisten ja subarktisten alueiden virtavedet ja järvet (Settele ym. 2014; Lammi ym. 2018a; Lento ym. 2019). Arktisilla alueilla jään ja ikeiroudan väheneminen, veden lämpötilan nousu ja kasvillisuuden muutokset muuttavat veden kemiallisia lisätoimia tuotantoa järvissä ja joissa. Jään, virtaaman ja vedenkorkeuden muutokset voivat vaikuttaa elinympäristöjen saatavuuteen ja laatuun (Prowse ym. 2006; Lento ym. 2019). Ilmastomuutoksen aiheuttamat muutokset arktisilla alueilla ovat merkittäviä, sillä tällä hetkellä muun ihmistoiminnan aiheuttama uhka näillä alueilla on vähäinen (Settele ym. 2014).

3.4.2.

Ilmastomuutoksen vaikutuksia sisävesien luontotyyppisiin

Koska suoraan luontodirektiivin luontotyyppijä koskevia tutkimuksia ilmastomuutoksen vaikutuksista ei löytynyt, sisävesiä tarkastellaan kahtena luontotyyppiryhmänä: virtavedet sekä lammet ja järvet.

Sisävedet ovat ilmastomuutokselle herkkiä ekosysteemejä, koska ne ovat suoraan osa globaalia hydrologista kiertoa. Siten ennustetut muutokset ilmaston lämpötilassa ja sateisuudessa vaikuttavat suoraan sekä niiden laatuun että toimintaan. Sisävedet ovat myös suoraan yhteydessä niitä ympäröivään valuma-alueeseen, joten ilmastomuutoksen vaikutukset valuma-alueen ekosysteemeihin heijastuvat myös sisävesiin. Luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa ilmastomuutos arvioitiin merkitykseltään kasvavaksi tulevaisuuden uhkatekijäksi sisävesi- ja rantaluontotyypeillä (Lammi ym. 2018a, b). Voimakkaimmin vaikutuksen arvioitiin kohdistuvan tunturialueelle, Lounais-Suomeen painottuneisiin luontotyyppisiin sekä karuihin ja kirkasvetisiin järviin (Lammi ym. 2018a).

Sisävesien lämpötilamuutokset, jääpeitteisen ajan lyheneminen, muutokset jään dynamiikassa (mm. jäätyneen ja sulamisen vaihtelu), kesän lämpötilakerrostuneisuuden vahvistuminen ja pidentynyt kesto sekä virtaamaolosuhteiden ja valunnan muutokset ovat tärkeitä ilmastomuutoksen myötä muuttuvia, sisävesien monimuotoisuuden vaikuttavia tekijöitä (Heino ym. 2009; Ström ym. 2011; 2012; Friberg ym. 2013; Nilsson ym. 2013; Lind ym. 2014; Lind & Nilsson 2015; Jansson ym. 2019). Nämä muutokset vaikuttavat laaja-alaisesti sisävesiluontotyyppisiin. Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa ilmastomuutos onkin mainittu yhtenä tulevaisuuden uhkatekijänä yli 80 %:lla arvioituista sisävesi- ja rantaluontotyypeistä (Lammi ym. 2018a, b).

Ilmastomuutoksen vaikutukset voivat olla voimakkaampia pienissä tai pohjoisissa vesistöissä. Esimerkiksi pienissä virtavesissä ilman lämpötila vaikuttaa suuremmin veden lämpötilaan kuin suurissa virtavesissä. Pienet virtavedet ovat myös herkimpiä äkillisille tulville tai matalan virtaaman jaksoille, joiden ennustetaan lisääntyvän ilmastomuutoksen myötä. Samalla tavalla pienet lammet voivat kärsiä kohoavan lämpötilan aiheuttamasta stressistä enemmän kuin suuret järvet. Matalista

järvistä ei löydy kesäisin suojapaikkaa kylmää vettä suosiville lajeille. (Heino ym. 2009.)

Sisävesien ja niiden rantojen luontotyyppien lajistossa ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat näkyä monella tapaa. Rantavyöhykkeiden kaventuminen virtaamamuutosten seurauksena voi vähentää lajiston monimuotoisuutta, mutta kohoava lämpötila ja jään dynamiikka voivat puolestaan lisätä sitä (Nilsson ym. 2013). Ilmastonmuutoksen seurauksena vesi- ja rantalajien levinneisyysalueiden ennustetaan siirtyvän; lämpimän veden lajit runsastuvat ja leviävät kohti pohjoista, ja kylmän veden lajit taantuvat (Heino ym. 2009; Alahuhta ym. 2011; Lento ym. 2019). Ilmastonmuutoksen arvioidaan vaikuttavan myös vesinisäkkäiden ja vesilintujen vaellus- ja muuttoreitteihin ja ajoitukseen (Wrona ym. 2006). Monien, osittain eri suuntiin vaikuttavien, tekijöiden yhteisvaikutusten vuoksi ilmastonmuutoksen vaikutusten ennustaminen ei ole helppoa.

Ilmastonmuutoksen uhkaa eurooppalaisille makeanveden lajeille arvioitiin 2050-luvulle ulottuvassa ennusteessa. Ennusteen mukaan 6 % yleisistä ja 77 % harvinaisista lajeista menettää yli 90 % nykyisestä levinneisyysalueestaan. Pohjoisen Itämeren valuma-alueet voivat tulevaisuudessa olla tärkeitä refugioita eli turvapaikkoja, kaikille lajiryhmille, mutta erityisesti putkilokasveille. Pohjois-Euroopan maissa makeanveden lajimäärän ennustettiin kasvavan. (Markovic ym. 2014.)

3.4.2.1.

Virtavedet

Luontodirektiivin liitteessä I on kolme virtavesiluontotyyppiä: pikkujoet ja purot (3260), Fennoskandian luonnontilaiset jokireitit (3210) sekä tunturijoet ja -purot (3220) (Liite 3). Virtavesiä tarkastellaan tässä katsauksessa kuitenkin yhtenä luontotyyppiryhmänä, koska vaikutusmekanismit virtavesien luontotyypeissä ovat samoja, eikä tutkimuksissa ole tarkemmin eritelty tarkasteltuja luontotyypejä.

3.4.2.1.1.

Virtaama- ja jääolosuhteiden muutokset vaikuttavat rantavyöhykkeiden kasvillisuuteen

Virtavedet ovat dynaamisia ekosysteemejä, joiden lajisto on sopeutunut jatkuvaan, mutta säännölliseen vuodenaikaiseen vaihteluun (Lind & Nilsson 2015). Ilmastonmuutoksen myötä muuttuvat virtaamaolosuhteet tulevat vaikuttamaan virtavesien rantakasvillisuuteen, ja boreaalisen alueen jokien rantavyöhykkeille ennustetaankin monenlaisia muutoksia (Ström ym. 2011; 2012; Nilsson ym. 2013; Jansson ym. 2019) (Taulukko 12).

Ruotsissa on tutkittu kokeellisesti ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia joen rantakasvillisuuteen siirtoistuttamalla kasvituppaita rannan korkeusvyöhykkeeltä toiselle (sekä ylhäältä alaspäin että päinvastoin) (Ström ym. 2011). Kokeessa simuloitiin ennustettuja vedenpinnan korkeuden muutosvaihteluita. Vaikutuksia seurattiin kuuden vuoden ajan, ja tulosten perusteella rannan kasviyhteisöt pystyvät sopeutumaan uudenlaisiin hydrologisiin olosuhteisiin, mutta muutos vie aikaa, eikä lajisto ollut vielä täysin sopeutunut uusiin olosuhteisiin seurannan päättyessä. Yhdistämällä kokeellisen tutkimuksen tulokset ennustettuihin muutoksiin virtaamaolosuhteissa, Ström ym. (2011) arvioivat, että ilmastonmuutoksen seurauksena joen maarantavyöhykkeet tulevat kapenemaan sekä ylä- että alaosastaan.

Virtaaman määrä ja vuodenaikainen vaihtelu ovat keskeisiä rantavyöhykkeen kasvillisuuden rakennetta määrittäviä tekijöitä. Pohjois-Ruotsin vapaana virtaavalla Vindel-joella tutkittiin neljän ilmastonmuutosskenaarion ennustamien hydrologisten muutosten vaikutuksia rantakasvillisuusvyöhykkeiden laajuuteen ja lajistolliseen monimuotoisuuteen (Ström ym. 2012). Ennusteiden mukaan kaksi lajistollisesti monimuotoisinta vyöhykettä, tulvametsä ja pajujen vallitsema pensasvyöhyke, kaventu-

vat eniten (tulvametsä 39 % ja pensasvyöhyke 32 %). Pensasvyöhykkeen alapuolella olevan heinävyöhykkeen ennustetaan siirtyvän ylöspäin, ja rannan alaosan semiaakvaattisen kasvillisuusvyöhykkeen laajenevan. Vindel-joella lajimäärän ennustetaan vähenevän tulvametsässä 5–12 % ja pensasvyöhykkeessä 1–13 % skenaariosta riippuen. Koko rantavyöhykkeelle ennustetaan 1–9 % lajimäärän laskua, koska monet kasvilajit voivat esiintyä useammalla vyöhykkeellä. Eteläboreaalaisella vyöhykkeellä muutokset voivat olla suurempia, sillä kevättulvien ennustetaan vähenevän etelässä voimakkaammin. (Ström ym. 2012.)

Jansson ym. (2019) mallinsivat ilmastomuutoksen vaikutuksia luonnontilaisen joen rantavyöhykkeen kasvilajien esiintymisalueiden laajuuteen. Rantavyöhykkeeksi määriteltiin alue, joka jää tulvan alle vähintään joka toinen vuosi. Huolimatta ennustetusta valunnan lisääntymisestä, useimpien rantalajien esiintymisalueen ennustettiin kapenevan keskimäärin 12–29 % vuosisadan loppuun mennessä, käytetystä skenaariosta riippuen. Lajit, jotka kasvavat kevättulvavyöhykkeen ylimmissä osissa, tulevat todennäköisesti menettämään elinalueitaan eniten. Yksi esiintymisalueestaan eniten menettävistä lajeista olisi harmaaleppä (*Alnus incana*), rantavyöhykkeen puuston avainlaji. Vesikasveista lähimpänä rantaa esiintyvien pohjaversoisten kasvien ennustetaan taantuvan, sillä niiden esiintymistä ylläpitävät jääolosuhteet tulevat harvinaistumaan lisääntyvien talvivirtaamien vuoksi. (Jansson ym. 2019.)

Kevättulvaa on pidetty tärkeimpänä virtavesien kasvillisuuteen vaikuttavana tekijänä. Uusien ruotsalaistutkimusten mukaan myös talven olosuhteilla, jäällä ja talvitulvilla, on tärkeä merkitys jokien ja purojen sekä niiden rantojen kasvilajistolliseen monimuotoisuuteen (Lind ym. 2014; Lind & Nilsson 2015). Syksyllä ja alkutalvesta vesien jäätyessä voi jäätä muodostua veden alle, mikä voi muuttaa uoman rakennetta, hidastaa virtausta ja aiheuttaa tulvimista. Talvinen jää- ja lumipeite suojaavat elinympäristöjä vedenalaisen jään muodostumiselta, mutta samalla vähentävät valon määrää veden alla. Keväällä jäiden lähdön aikaan voi muodostua jääpatoja, mikä vaikuttaa tulvaan ja sen aiheuttaman eroosion määrään. Yhteisötasolla jäädynamiikka ja -eroosio näyttäisivät lisäävän lajistollista monimuotoisuutta, mutta kasviyksilöille vaikutus voi olla haitallinen. Parhaiten jääeroosiota sietävät kasvilajit, jotka lisääntyvät kasvullisesti ja joiden silmut ovat maan alla, runsaasti siemeniä tuottavat lajit, tai lajit, joilla on laaja juuristosysteemi. (Lind ym. 2014.)

Pohjajään muodostumisen aiheuttama eroosio ja talvitulvat voivat olla pohjoisilla joilla merkittäviä häiriötekijöitä, jotka ylläpitävät rantojen ja uoman kasvilajistollista monimuotoisuutta mahdollistamalla heikompien kilpailijoiden esiintymisen. Uomajaksoilla, joilla muodostuu pohjajäätä, rantakasvillisuus oli lajistollisesti monimuotoisempaa. Tämä johtuu erityisesti ruohojen ja heinien runsaudesta. Jos jäädynamiikka heikkenee ilmaston lämpenemisen vuoksi, se voi muuttaa ranta- ja vesikasvillisuuden koostumusta, millä voi olla vaikutuksia koko virtavesiekosysteemiin. (Lind & Nilsson 2015.)

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa jäätymisen ja sulamisen dynamiikkaan, mikä vuorostaan vaikuttaa pohjoisten virtavesien kasviyhteisöihin. Vaikka talvet lyhenevät, sään vaihtelu pakkasen ja suojasään välillä voi lisääntyä. Tämä voi lisätä suppoa pohjajään ja jääpatojen muodostumista ja jääeroosiota. Jatkuessaan lämpötilan nousu kuitenkin vähentää jään muodostumista ylipäättään. (Nilsson ym. 2013; Lind ym. 2014; Lind & Nilsson 2015.)

3.4.2.1.2.

Virtaamaolosuhteiden ja lämpötilan muutoksen vaikutus pohjaeläinyhteisöihin

Virtaamaolosuhteet ja niiden vaihtelu on tunnistettu tärkeäksi virtavesiekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan vaikuttavaksi muutostekijäksi. Toistaiseksi tiedetään kuitenkin melko vähän siitä, millä tavalla vuodenaikainen vaihtelu tai ääriolosuh-

Taulukko 12. Ilmastomuutoksen mahdollisia vaikutuksia virtavesiluontotyyppisiin kirjallisuuden perusteella.

Muuttuva ilmastotekijä	Seuraus	Mahdollisia vaikutuksia luontotyyppiin	Lähde
Muutos sademäärissä ja sateiden ajoittumisessa	Muutos tulvien esiintymisessä ja kestossa	Rantavyöhykkeen tulvavaikutteen habitaatin vähentyminen. Suurimmat muutokset pensasvyöhykkeessä. Harmaalepän esiintymisalue supistuu.	Jansson ym. 2019
	Muutos hydrologisissa olosuhteissa	Rantavyöhykkeen kaventuminen. Tulvametsän ja pensasvyöhykkeen kaventuminen ja kasvilajimäärän vähentyminen.	Ström ym. 2011; 2012
	Pienemmät ja aikaisemmat kevättulvat ja lisääntynyt talvivirtaama	Kapeammat ja vähälajisemmat rantavyöhykkeet.	Nilsson ym. 2013
	Muutos virtaamien vuodenaikaisvaihtelussa	Muutoksia pohjaeläinten lajiyhteisöissä.	Mustonen ym. 2018
Lämpötilan nousu	Muutos lajikoostumuksessa	Eteläisten lajien leviäminen ja mahdollisesti boreaalisten lajien häviäminen.	Nilsson ym. 2013
		Muutoksia pohjaeläinlajiston koostumukseen	Mustonen ym. 2018
	Haihtuminen lisääntyy	Kesäaikainen kuivuus	Nilsson ym. 2013
Muutos talviolosuhteissa	Lisääntyvä talvivirtaama ja muutos jääolosuhteissa	Rannan tuntumassa kasvavien pohjaversoisten vesikasvien olosuhteet heikentyvät	Jansson ym. 2019
	Lisääntyvä jäätymisen ja sulamisen vaihtelu ja lisääntyvä jääeroosio	Ylläpitää rantavyöhykkeen lajiston monimuotoisuutta	Nilsson ym. 2013; Lind ym. 2014; Lind & Nilsson 2015

teet vaikuttavat esimerkiksi lajiyhteisöjen koostumukseen. (Sarremejane ym. 2018 ja viitteet siinä; Mustonen 2016; Mustonen ym. 2018.)

Ilmastomuutoksen on ennustettu muuttavan virtaamien määrää ja vuodenaikaisvaihtelua. Se voi tuoda mukanaan sekä äkillisiä, voimakkaampia tulvia että toisaalta pitkittyneitä pienen virtaaman kausia. Muutokset tulevat vaikuttamaan myös virtavesien eliöyhteisöihin (Mustonen ym. 2018).

Ilmastomuutoksen aiheuttama lämpötilan nousu ja valunnan vuodenaikaisen jakautumisen muutos voivat muuttaa virtavesien lajiyhteisöjen rakennetta ja dynamiikkaa (Mustonen 2016; Mustonen ym. 2018). Mustonen ym. (2018) tunnistivat ilmastomuutokselle herkimpiä jokityyppejä mallintamalla lämpötilan nousun ja virtaamien muutosten vaikutuksia 239:n lähes luonnontilaisen joen pohjaeläinyhteisöihin Suomessa. Ennuste ulottui vuosisadan loppuun. Voimakkaimpien vaikutusten arvioitiin kohdistuvan pohjoiseen sekä latvavesiin. Lämpötila on tärkein jokien pohjaeläinlajiston levinneisyyttä määrittävä tekijä, ja lämpötilan nousun arvioidaankin vaikuttavan merkittävästi lajikoostumukseen. Mallinnuksen perusteella sekä ilman lämpötila että taksonominen monimuotoisuus lisääntyivät eniten Pohjois-Suomessa. Pohjoisten virtavesien ennustettiin menettävän suuren osan vuodenaikaisesta virtaamien vaihtelusta, millä voi olla huomattavia vaikutuksia virtavesien pohjaeläinyhteisöihin. Tulevaisuuden ennustetut lajikoostumukset poikkesivat nykyisistä eniten juuri niillä kohteilla, joille ennustettiin suurimpia virtaaman vaihtelun menetyksiä. Muutoksia pohjaeläinyhteisöissä ennustettiin tapahtuvan enemmän latvavesissä

kuin suurissa joissa. Latvavedet ovat erityisen herkkiä virtaaman muutoksille. (Musterinen ym. 2018.)

Hydrologiset ääriolosuhteet (poikkeuksellisen korkeat tai matalat virtaamat) vaikuttavat voimakkaasti virtavesien selkärangattomien eliöyhteisöjen lajikoostumukseen (Sarremeijane ym. 2018 ja viitteet siinä). Mikäli ilmastonmuutoksen myötä ääriolosuhteiden esiintymisen todennäköisyys kasvaa, tulee sillä olemaan vaikutusta myös virtavesien eliöyhteisöihin (Sarremeijane ym. 2018).

Vapaana virtaavat joet ja purot pystyvät sopeutumaan muutoksiin, myös ilmastonmuutokseen, paremmin kuin padotut tai muuten muutetut virtavedet (Palmer ym. 2008). Pääosa ilmastonmuutokseen liittyvistä tutkimuksista koskee luonnontilaisia tai lähes luonnontilaisia uomia, mikä helpottaa ilmastonmuutoksesta aiheutuvien muutosten tunnistamista. Ilmaston lämpenemisen ja maankäytön yhteisvaikutukset voivat kuitenkin voimistaa haitallisia vaikutuksia, kuten on ennustettu esimerkiksi boreaalisten virtavesien herkimmille kalalajeille (Murdoch ym. 2020). Ennallistamistoimenpiteet, jotka lisäävät rantavyöhykkeen vedenpidätyskykyä, varjoisuutta, lehtipuuosuutta ja hiilen sidontaa voivat lieventää myös ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja parantaa virtavesien sopeutumiskykyä (Nilsson ym. 2013; Johnson & Almlöf 2016; Thomas ym. 2016; Dybala ym. 2018). Virtaamaesteiden palauttaminen uomaan ja muut uomarakenteen ennallistamistoimenpiteet, jotka lisäävät veden viipymistä ja pidentävät rantavyöhykkeellä viipyvää tulvaa, voivat myös potentiaalisesti lieventää ilmastonmuutoksen vaikutuksia (Ström ym. 2012; Nilsson ym. 2013).

3.4.2.2.

Järvet ja lammet

Suomessa esiintyviä Luontodirektiivin liitteen I järvi- ja lampiluontotyypppejä on viisi: karut kirkasvetiset järvet (3110), niukka-keskiravinteiset järvet (3130), kalkkilammet ja -järvet (3140), luontaisesti runsasravinteiset järvet (3150) sekä humuspitoiset järvet ja lammet (3160) (Liite 3). Järviä ja lampia tarkastellaan tässä katsauksessa yhtenä luontotyyppiryhmänä, koska tutkimuksissa ei ole tarkemmin eritelty tarkasteltuja luontotyypppejä.

Järvien, lampien ja niiden rantojen luontotyyppien mahdollisista muutoksista muuttuvassa ilmastossa ei löytynyt juurikaan tutkimustietoa. Ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia järviekosysteemien ainekiertoihin (hiili, orgaaninen aines, ravinteet) on tutkittu selvästi enemmän (esim. Kankaala ym. 2002; Adrian ym. 2009; Tranvik ym. 2009; Larsen ym. 2011; Moss 2012; Creed ym. 2018; Kiuru 2019), mutta näitä ei sisällytetty tähän katsaukseen.

Markovic ym. (2017) tutkivat 18 783 eurooppalaisen järvi- ja jokivaluma-alueen herkkyyttä ilmastonmuutokselle. Tulosten mukaan sekä Etelä- että Pohjois-Euroopan valuma-alueiden herkkyys ilmastonmuutokselle kasvaa vuosisadan loppua kohden ja muun muassa pohjoisen Skandinavian valuma-alueiden ennustetaan altistuvan voimakkaalle lämpötilan ja hydrologisten olosuhteiden muutoksille.

Arktisista ja subarktisista järvistä (Suomesta 11 järveä Tunturi-Lapista) otettujen sedimenttinäytteiden perusteella on arvioitu, että järvien eliöyhteisöissä viimeisten noin 150 vuoden aikana tapahtuneet muutokset ovat pääasiassa ilmastonmuutoksesta johtuvien kesän kasvukauden pidentymisen, jääpeitteisen ajan lyhenemisen ja lisääntyneen lämpökerrostuneisuuden aiheuttamia (Smol ym. 2005).

3.4.3.

Yhteenveto

Ilmastonmuutoksella on sekä suoria että epäsuoria vaikutuksia sisävesien ja niiden rantojen luontotyypppeihin. Muutokset sademäärissä ja sateiden jaksottumisessa vaikuttavat suoraan vesistöjen hydrologiseen tilaan ja eliöyhteisöihin. Kasvava sadanta

lisää valuntaa ja virtaamaa ja sitä kautta lisää ravinteiden ja kiintoaineiden huuhtoutumista vesistöihin. Valunnan ajallisen jakautumisen muutos on myös merkittävä. Sen ennustetaan näkyvän esimerkiksi aikaisempina ja pienempinä kevättulvahuippuina ja lisääntyvinä talvivaluntoina. Myös talviolosuhteiden muutosten, erityisesti jäätymisen ja sulamisen vaihtelun mahdollisen lisääntymisen, arvioidaan vaikuttavan erityisesti virtavesien ja niiden rantojen eliöyhteisöihin.

Sisävesien luontotyyppit ovat ylipäättään herkkiä ilmastonmuutokselle, koska lämpötilan nousu ja muutokset sateisuudessa vaikuttavat niihin suoraan hydrologisen kierron kautta. Lisäksi valuma-alueella ilmastonmuutoksen seurauksena tapahtuvat muutokset vaikuttavat sisävesiin. Myös vesistön koko (sopeutumiskyky) ja maantieteellinen sijainti (altistuminen) vaikuttavat sisävesien luontotyyppien herkkyyteen ilmastonmuutokselle. Kaikkein herkimmiä on tunnistettu pienimmät ja pohjoisimmat vesistöt, kuten virtavesien latvapurot ja subarktisen alueen (Tunturi-Lapin) pienvedet.

Muista luontotyypeistä poiketen, sisävesistä on olemassa hyvin pitkiä aikasarjoja, jotka kertovat vesistöissä tapahtuneista muutoksista. Näistä etenkin virtaamaan sekä lämpötila- ja jääoloihin liittyvät seurannat ovat merkittäviä. Niiden perusteella on arvioitu, mitä vaikutuksia ilmastonmuutoksella on mahdollisesti jo ollut vesistöihimme. Aikasarjojen avulla on myös mallinnettu ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia tulevan vuosisadan aikana. Seuratut muuttajat ovat tärkeitä myös sisävesien luontotyyppien laatuun vaikuttavia tekijöitä, vaikka suoraan luontotyyppien muutoksia ei olekaan seurattu tai mallinnettu. Ennustetuilla muutoksilla virtaama- ja talviolosuhteissa voi ruotsalaistutkimusten perusteella olla huomattavaa vaikutusta virtavesien rantakasvillisuuden vyöhykkeisyyteen ja lajistoon. Myös Suomessa olisi tarpeen tutkia sekä luonnontilaisten että muutettujen virtavesien tulvien ja tulvanalaisten rantavyöhykkeiden mahdollisia tulevaisuuden muutoksia. Pitkät vesistöseurantasarjat, niiden pohjalta tehdyt ennusteet sekä tulvariskialueiden mallinnukset voisivat olla apuna tässä työssä. Tietoa mahdollisista muutoksista tarvittaisiin esimerkiksi ennallistamis- ja hoitotoiminnan tueksi, jotta tehtävät toimet tukisivat sopeutumista ilmastonmuutokseen, ja jotta ennallistamistoimenpiteitä voitaisiin kohdentaa alueille, joilla esimerkiksi tulvia todennäköisesti esiintyy tulevaisuudessakin.

Sisävesiin on kohdistunut ja kohdistuu myös tulevaisuudessa monenlaisia ihmistoiminnasta johtuvia uhkia ja paineita, ja maankäyttö on vaikuttanut voimakkaasti myös sisävesien luontotyypeihin. Ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat osittain olla näitä muutoksia vahvistavia, esimerkiksi lisääntyvät talvisateet lisäävät ravinteiden huuhtoutumista valuma-alueelta ja voivat vahvistaa rehevöitymiskehitystä. Ilmastonmuutoksen ja maankäytön yhteisvaikutuksista sisävesiin ei ole vielä juurikaan tutkimustietoa.

3.5.

Nummet, niityt ja pensastot

Sonja Forss

3.5.1.

Johdanto

Tässä työssä selvitettiin ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia perinneympäristöjen – nummien, niittyjen ja pensastojen – luontotyypeihin. Selvitys tehtiin laajan kirjallisuushaun perusteella, johon koottiin perinnebiotooppeja käsittelevää kirjallisuutta kautta koko Euroopan. Selvityksen tarvetta korostaa kaksi tärkeää seikkaa: (i) maatalouteen liittyvien laajamittaisten muutosten johdosta useissa maissa

perinnebiotooppien esiintymät ja niiden lajipopulaatiot ovat voimakkaasti taantuneet, ja jäljellä olevat esiintymät ovat elinympäristöjen muutoksille hyvin herkkiä, ja (ii) ilmastomuutos voi vaikuttaa avoimien perinnemaisemien luontotyyppeihin suhteessa voimakkaammin kuin moniin suojaisempiin luontotyyppeihin, kuten esimerkiksi metsäisiin luontotyyppeihin; etenkin ilmaston lämpenemisen vaikutuksille puustoltaan niukkapeitteiset perinnebiotoopit ovat usein huomattavan alttiita.

3.5.2.

Aineisto

Ilmastomuutoksen vaikutuksesta perinnebiotooppien luontotyyppeihin kokonaisuutena löytyi kirjallisuudesta hyvin vähän tietoa, samoin vaikutuksista yksittäisiin luontodirektiivin luontotyyppeihin. Borealisista kuivista niityistä ja tulvaniityistä ei löytynyt tutkimustietoa ilmastomuutoksen vaikutuksesta.

Suurin osa löydetyistä tutkimuksista käsittelee jotain rajattua ilmiötä, tai tiettyjä lajeja ja lajiryhmiä. Tutkimuksissa käsitellään esimerkiksi maaperän prosesseja tai yksittäisten lajien esiintymistä, tiettyjen lajien kasvua tai niiden ravinteiden varastointia. Monet tutkimukset, joissa käsitellään perinnebiotooppeja suhteessa ilmastomuutokseen, käsittelevät siis vain pieniä osia ekosysteemistä. Niistäkin on kuitenkin mahdollista tehdä joitakin oletuksia ilmastomuutoksen vaikutuksista perinnebiotooppeihin luontotyypeinä.

Kirjallisuushaussa löytyi vain joitakin yksittäisiä pohjoiseurooppalaisia tutkimuksia ja raportteja. Suurin osa löytyneistä tutkimuksista on tehty Keski- ja Etelä-Euroopassa. Siten Suomen olosuhteissa niiden tuloksia pitää käsitellä lähinnä suuntaa antavina.

3.5.3.

Merkittävimmät vaikutukset

Perinnebiotoopit kuuluvat Euroopan haavoittuvimpiin luontotyyppeihin (Lennartsson & Simonsson 2007). Suurimmat uhat perinnebiotooppien monimuotoisuudelle ovat niiden käytön päättymisen, umpeenkasvu, vääränlainen hoito ja pirstoutuminen. Ilmastomuutos voi voimistaa näiden maankäyttöön liittyvien muutosten vaikutuksia. Myös Suomessa lähes kaikki perinnebiotooppien luontotyytit on arvioitu äärimmäisen uhanalaisiksi, pitkälti umpeenkasvun takia (Lehtomaa ym. 2018).

Merkittävimmät ilmastomuutokseen liittyvät tekijät perinnebiotoopeilla ovat rehevöityminen, umpeenkasvu ja kasvukauden piteneminen. Lisäksi perinnebiotooppeihin vaikuttavat sademäärien kasvu ja rankkasateiden yleistymisen, kesäisten kuivuusjaksojen yleistymisen sekä merenrantaniityillä merenpinnan nousu.

Lämpötilan nousu itsessään kiihdyttää umpeenkasvua, etenkin hoitamattomilla kohteilla, kun kasvu ja ravinteiden vapautuminen kiihtyy. Myös ilman hiilidioksidipitoisuuden nousu vaikuttaa kasvillisuutta rehevöittävästi ja voimistaa siten umpeenkasvua (Lehtomaa ym. 2018). Rehevöityminen voi kiihtyä myös kasvavan sadannan takia, etenkin jos sateen mukana maahan tulee typeä ilmasta (Lennartsson & Simonsson 2007).

Rehevöityminen ja umpeenkasvu koskevat käytännössä kaikkia perinnebiotooppityyppejä, ja niihin vaikuttavat ilmastomuutoksen lisäksi maankäytön muutokset. Sademäärien muutokset muuttavat perinnebiotooppien kosteusolosuhteita ja sitä kautta niillä esiintyvää lajistoa. Rankkasateet ja kuivuusjaksot aiheuttavat tilapäisiä ääriolosuhteita.

Merenrantaniityt

Merenrantaniityjen kannalta merkittäviä ilmastonmuutoksen vaikutuksia ovat merenpinnan nousu, jääpeitteen ja siten jään kuluttavan vaikutuksen väheneminen rannoilla, ja jäätiköiden ja napajään sulamisesta johtuvat veden suolapitoisuuden muutokset. Lisäksi merenrantaniityjä uhkaa umpeenkasvu, kuten käytännössä kaikkia muitakin perinnebiotooppityyppejä.

Merenpinnan nousun vaikutuksista merenrantaniityihin on tehty kattava analyysi Ruotsissa. Länsi-Götanmaan lääninhallituksen raportissa (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2013) käsitellään Natura-luontotyyppiä Atlantin alueen suolaniityt (1330), mutta merenpinnan nousun vaikutukset ovat todennäköisesti samankaltaisia myös Itämeren rantaniityillä.

Pitkällä aikavälillä merenpinnan nousun suurin vaikutus merenrantaniityihin on niityjen jääminen veden alle. Länsi-Götanmaan lääninhallituksen paikkatietoanalyysissa tutkittiin merenrantaniityjen esiintymistä suhteessa yhden metrin merenpinnan nousuun. Ennustettu nousu tutkitulla alueella on 65–80 cm vuoteen 2100 mennessä. Yhden metrin nousulla jopa 85 % alueen merenrantaniityistä jää veden alle. (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2013.) Itämerellä merenpinnan nousun ennustetaan olevan pienempää kuin Länsi-Götanmaan rannikolla, koska maankohoamisen vaikutus on täällä voimakkaampi. Silti merenpinnan ennustetaan nousevan Suomenlahden rannikolla 30–90 cm vuosien 2000 ja 2100 välillä. Perämerellä maankohoaminen on vielä niin voimakasta, että merenpinnan ennustettu muutos on -30 – +30 cm. (Ilmasto-opas 2019b.)

Merenpinnan noustessa merenrantaniityjen pinta-alan säilyminen ennallaan on mahdollista vain, jos uutta niittyalaa voi muodostua nykyisistä niityistä sisämaahan päin. Monissa kohteissa tämä mahdollisuus on kuitenkin rajallinen. Rantaniityn muodostumisen voi estää esimerkiksi topografia, sillä rannikolla maasto voi nousta jyrkästi ja muuttua kallioiseksi. Rantaniityt voivat rajautua myös metsään, joka estää siirtymisen. Uuden niittyalan muodostuminen on mahdollista vain, jos merenrantaniity rajautuu tasaiseen ja avoimeen ympäristöön, kuten peltoon, laitumeen tai muihin niittytyyppeihin (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2013). Alueita, joilla merenrantaniityjä voisi tulevaisuudessa esiintyä, tulisi jo nyt hoitaa ja pitää avoimena lajiston siirtymisen helpottamiseksi. Hoitoa tulisi myös kohdentaa ensisijaisesti niille niityille, joiden laidoilla uuden niittyalan muodostuminen on mahdollista.

Keskimääräisen merenpinnan nousun lisäksi ilmastonmuutos voi vaikuttaa lyhyt-aikaiseen vedenkorkeuden vaihteluun, kun tuulisuus muuttuu ja myrskyt yleistyvät. Viime vuosisadan aikana Itämeren vedenkorkeusmaksimit ovat kasvaneet ja joidenkin mallien mukaan maksimit voivat vielä kasvaa lisää. Jääpeitteen väheneminen mahdollistaa vedenpinnan nykyistä suuremman vaihtelun myös talvella (Ilmasto-opas 2019b). Merenrantaniityille tämä tarkoittaa lisääntyvää tulvimista.

Rannikkokasvillisuus on vyöhykkeistä sen mukaan, miten lajit sietävät suolaa ja maaperän vetisyyttä (Jerling 1999). Ilmaston lämmetessä ja jäätiköiden ja napajään sulaessa meriveden suolapitoisuus laskee. Suolapitoisuuden lasku muuttaa rannikkokasvillisuuden vyöhykkeisyyttä ja lajien kilpailuasetelmia (Reinikainen ym. 2018).

Kont ym. (2007) mukaan Viron rannikolla suurimmat ilmastonmuutoksen vaikutukset liittyvät myrskyjen lisääntymiseen ja voimistumiseen, myrskyjen aiheuttamaan vedenpinnan nousuun, jäätömyyteen ja sedimenttien jäätymättömyyteen. Myrskyjen takia merenrannat tulvivat nykyistä enemmän ja eroosio rannoilla lisääntyy.

Lämpiminä talvina Itämeren jääpeite jää kehittymättä. Tämän seurauksena jäiden lähdön aiheuttama kuluttava vaikutus rannoilla heikkenee, mikä edesauttaa rehevöitymistä ja umpeenkasvua (Reinikainen ym. 2018).

Nummet

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia nummikasvillisuuteen on tutkittu Tanskassa ja Iso-Britanniassa. Tanskassa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin nummikasvillisuuden olevan yllättävän vastustuskykyistä ilmastonmuutoksen vaikutuksille (Kongstad ym. 2012). Tässä tutkimuksessa nummialueen ilmasto-olosuhteita muutettiin kokeellisesti. Tutkimusalueen nummen valtalajit kanerva (*Calluna vulgaris*) ja metsälauha (*Deschampsia flexuosa*) reagoivat kuitenkin muuttuneisiin ilmasto-oloihin vain lyhytaikaisesti. Sekä lämpötilan että hiilidioksidipitoisuuden nostaminen lisäsi metsälauhan kasvua kasvukauden alussa, mutta kasvu laantui myöhemmin kasvukaudella. Kumpikaan näistä käsittelyistä ei vaikuttanut metsälauhan vuoden aikana kertyneeseen maanpäälliseen biomassaansa. Kanervan kasvu ei lisääntynyt lämpötilan tai hiilidioksidipitoisuuden kokeellisen nostamisen jälkeen.

Peñuelas ym. (2004) ovat myös tutkineet kanervavaltaisia nummia. Tässä tutkimuksessa lämpötilan kokeellinen kohottaminen lisäsi kasvien kasvua Tanskassa ja Walesissa sijaitsevilla tutkimusalueilla. Lisääntynyt kasvu johtui todennäköisesti kasvukauden pitenemisestä ja maaperän ravinteisuuden lisääntymisestä maaperän lämmitessä ja hajottamisen kiihtyessä.

Kuivuudella ei ollut merkittävää vaikutusta kasvuun kummassakaan tutkimuksessa. Kongstadin ym. (2012) tutkimuksessa metsälauha kuihtui kuivuuden aikana, mutta kasvoi nopeasti uudelleen kuivan jakson päätyttyä. Kanerva sen sijaan jatkoi kasvua myös kuivien jaksojen aikana. Toisessa tutkimuksessa on osoitettu kanervan sopeutuvan kuivuuteen vähentämällä yhteyttämistä kuivuuden aikana ja lisäävän sitä taas kuivan jakson päätyttyä (Albert ym. 2011).

Nummikasvillisuus on sopeutunut kuivaan ja vähäravinteiseen ympäristöön, jossa lajit reagoivat olosuhteiden vaihtelevuuteen. Peñuelasin ym. (2004) tulokset viittaavat kuitenkin siihen, että myös nummilla kasvu ennen pitkää kiihtyy, kun maaperästä vapautuu lämpenemisen johdosta enemmän ravinteita. Kongstadin ym. (2012) tutkimusalueella on aikaisemmin havaittu hiilidioksidipitoisuuden nousun kiihdyttävän yhteyttämistä (Albert ym. 2011). Jos lisääntynyt hiilidioksidi kasvattaa kasvien juuribiomassaa, kuten muissa vastaavissa tutkimuksissa on havaittu (esim. van Vuuren ym. 1997) lisää se pidemmällä aikavälillä maaperän ravinteiden hyödyntämistä ja siten kasvien kasvua.

Suomessa kanervanummiin voi vaikuttaa myös kanervan kylmänarkuus. Kanerva vaatii lumipeitteen selvitäkseen pakkasista (Salemaa 2000), joten se tulee kärsimään lumettomien talvien pakkasjaksoista. Tällöin muut lajit voivat yleistyä ja sen seurauksena kasvivyhdyskunta muuttua.

Iso-Britanniassa on tutkittu myös palojen vaikutusta kanervanummien kasvillisuuteen (Grau-Andrés ym. 2019). Palojen ennustetaan lisääntyvän ja etenkin voimistuvan tutkitulla nummialueella, kun kesät muuttuvat kuivemmiksi. Suomessakin erittäin kuivien kesien odotetaan yleistyvän (ilmasto-opas 2019c), joten palot voivat lisääntyä myös suomalaisilla kanervanummilla.

Grau-Andrésin ym. (2019) tutkimuksessa tarkasteltiin valtalajien palautumista palon jälkeen. Palon voimakkuus vaikutti nummen kasvillisuuteen. Heiniä oli eniten voimakkaimmin palaneilla koealoilla, etenkin röllejä (*Agrostis spp.*) ja metsälauhaa (*Deschampsia flexuosa*). Molemmat ovat pioneerilajeja, ja ne lisääntyivät todennäköisesti kilpailun vähetessä, koska kanerva uusiutuu hitaammin.

Myös kanervat (*Calluna vulgaris* ja *Erica cinerea*) palasivat runsaina voimakkaasti palaneille aloille. Kanervat olivat valtalajeja ennen polttoja, mutta voimakkaasti palaneilla aloilla heinät lisääntyivät palon jälkeen. Kanervia oli kuitenkin myös runsaasti, mutta niiden kasvu on hitaampaa kuin heinien. Versojen määrä kuitenkin osoittaa, että ne palautuvat tehokkaasti voimakkaan palon jälkeen. Keskivoimakkaan

palon koealoilla kanerva palautui heikommin. Voimakkaasti palaneilla koealoilla oli nuoria kanervia, jotka olivat kasvaneet siemenistä. Useimmiten varttuneet kanervat lisääntyvät kasvullisesti, mutta voimakkaasti palaneilla koealoilla kanervat itivät siemenistä. Palo sai siis kanervat muuttamaan lisääntymistaktiikkaansa. Tämä voi johtua siitä, että voimakas palo tuhoaa kasvin kudoksia, eikä kasvullinen lisääntyminen siksi onnistu. (Grau-Andrés ym. 2019.)

3.5.6.

Tuoreet niityt

Ilmastonmuutoksen merkitystä tuoreiden niittyjen lajiyhteisöihin ja ekologiaan on tutkittu eniten kuivuuden lisääntymisen vaikutusten kautta. Sveitsissä tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin kuivuusjaksojen ajankohdan merkitystä kasvien lisääntymiseen (Zeiter ym. 2016). Kuiva jakso loppukesällä kuivattaa maaperää enemmän kuin kuiva jakso keväällä, koska kesällä haihdunta on suurempaa korkeamman lämpötilan takia. Tutkimuksessa kuiva jakso heikensi kasvien lisääntymistä ajankohdasta riippumatta, mikä näkyi versojen määrän vähenemisenä ja heikentyneenä siementuottona. Heikentynyt lisääntyminen muuttaa niityn lajistoa.

Juuriston syvyys vaikuttaa kasvien kykyyn sietää kuivuutta. Syväjuuriset kasvit voivat kestää äärimmäistäkin kuivuutta, koska ne saavat vettä syvemmältä maaperästä myös silloin kun maan pinta kuivuu. Lajit, joilla on pinnalliset juuret, voivat sen sijaan hyödyntää pieniä, maaperän pinnan kastelevia sademääriä paremmin, vaikka sateiden välissä olisikin kuivia jaksoja (Crawley 1997). Zeiterin ym. (2016) tutkimuksessa heinät, joilla on pinnallisemmat juuret kärsivät kuivuuden takia heikentyneestä lisääntymisestä enemmän kuin ruohot, joilla on syvemmät juuret. Tämän perusteella voidaan olettaa, että kuivuuden vaikutuksesta tuoreilla niityillä ruohot voisivat lisääntyä ja heinät vähentyä.

Tästä oletuksesta poikkesi kuitenkin tutkimusniityn valtalaji nurmirölli (*Agrostis capillaris*), joka ei tutkimuksessa kärsinyt kuivuudesta. Muissakin tutkimuksissa on havaittu, että vallitseva heinälaji ei välttämättä reagoi voimakkaasti sateisuuden vaihteluun (Fay ym. 2003). Tämä voi johtaa siihen, että kuivuusjaksojen yleistyessä tuoreiden niittyjen lajisto köyhtyy, koska valtaheinä yleistyy muiden lajien lisääntymisen heiketessä.

Suomessakin kesäisten kuivien jaksojen ennustetaan yleistyvän, joten tuoreiden niittyjen kasvilajien lisääntymisen voidaan olettaa heikentyvän myös täällä ilmastonmuutoksen seurauksena. Eri lajeilla on erilainen kyky sietää kuivuusjaksoja, mikä voi muuttaa kasviyhdyskunnan rakennetta ja johtaa lajien häviämiseen. Kuivuutta paremmin sietävät lajit hyötyvät kilpailun vähenemisestä, ja valtaheinän yleistymisen ja sen seurauksena heinittyminen voi olla mahdollista täälläkin.

3.5.7.

Kosteat niityt

Siniheinäniityt (*Molinia*-niityt kalkki-, turve- ja savialustoilla, 6410) mainitaan lyhyesti erillisenä Natura-luontotyyppinä Länsi-Götanmaan lääninhallituksen ilmastonmuutoksen vaikutuksia käsittelevässä raportissa (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2013). Ilmastonmuutoksen vaikutuksista siniheinäniittyihin on raportin mukaan hyvin vähän tietoa saatavilla. Voidaan kuitenkin olettaa, että sademäärien kasvun johdosta siniheinäniittyjä jää ainakin kausiluontoisesti veden alle.

Sisävesien rannoilla kausijään väheneminen vaikuttaa umpeenkasvua nopeuttavasti samalla tavalla kuin merenrantaniityillä, kun jään kuluttava vaikutus vähenee (Lehtomaa ym. 2018).

Lisääntyvät sademäärät syksyllä ja talvella todennäköisesti lisäävät tulvimista sisävesissä, jolloin niiden rannoilla esiintyvät perinnebiotoopit kärsivät. Virtavesien rannoilla suurempi vesimäärä aiheuttaa myös eroosiota. Muuten ilmastomuutoksen vaikutuksia sisävesien rannoilla esiintyviin perinnebiotooppeihin on vaikea ennakoita. Osassa järviä vedenpinnan odotetaan laskevan kuivuuden seurauksena ja osassa taas nousevan sademäärien lisääntyessä, jolloin vaikutukset rantojen kasvillisuuteenkin ovat erilaiset (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2013).

Kosteat niityt voivat laajentua tai niitä voi kehittyä uusille alueille. Alavia peltoja, joiden käyttö maatalousmaana vaikeutuu kasvavan vetisyyden takia, voidaan jatkossa hoitaa kosteina niittyinä, joille niittylajisto voi levitä (Lennartsson & Simonsson 2007).

3.5.8.

Niittoniityt

Vuoristojen niitetyt niityt ovat merenrantaniittyjen ohella toinen perinnebiotooppi-tyyppi, jonka mahdollisuus siirtyä ilmasto-olosuhteiden muuttuessa on rajallista. Vuoren rinteitä pääsee ylöspäin vain huipulle asti.

Mackien ym. (2019) sveitsiläisellä niittoniityllä tehdyn tutkimuksen mukaan niittyjen tuotanto heikkenee kuivien jaksojen aikana. Tuotannon heiketessä maaperän ravinteisuus kasvaa, kun kasvien kasvuun kuluu vähemmän ravinteita. Ravinteiden parempi saatavuus auttaa kasvillisuuden palautumisessa kuivan jakson päättymisen jälkeen. Tutkimuksen mukaan kuivuusjaksot vaikuttavat niittoniityn kasvillisuuteen merkittävästi lyhyellä aikavälillä, mutta pidemmällä aikavälillä palautuvuus on hyvä.

Tutkimuksessa heinien biomassa väheni enemmän kuin ruohojen, ja hernekasvien enemmän kuin muiden ruohojen. Kuivuus siis vähensi heiniä suhteessa ruohoihin. Kymmenen kuukautta kuivuusjakson päättymisen jälkeen kasvien biomassa oli pääosin palautunut. Vain hernekasvien biomassa oli edelleen alhaisempi. Niittykasvillisuuden, etenkin heinien biomassan nopea palautuminen kuivuuden jälkeen on havaittu muissakin tutkimuksissa (Stampfli ym. 2018).

3.5.9.

Hakamaat

Hakamaihin kohdistuvista ilmastomuutoksen vaikutuksista on hyvin vähän tutkimustietoa Pohjois-Euroopasta. Länsi-Götanmaan lääninhallituksen raportissa (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2013) merkittävimpänä vaikutuksena mainitaan umpeenkasvu kasvukauden pidentymisen seurauksena, ja jalopuiden tautien leviäminen lämpötilan nousun seurauksena.

Espanjassa tehdyssä tutkimuksessa pensoittumisen havaittiin lisäävän hakamaiden kuivuutta entisestään. Tämä perustui sekä maaperän kosteuden vähenemiseen että kuivan jakson alkamisen aikaistumiseen. Pensaat sekä vähentävät latvustollaan maahan asti satavan veden määrää että kilpailevat muun kasvillisuuden kanssa saatavilla olevasta vedestä (Rolo & Moreno 2019).

Suomessa sademäärien ennustetaan ilmastomuutoksen seurauksena kasvavan. Samalla kuitenkin haihdunta lisääntyy ja helteet yleistyvät, mikä voi johtaa nykyistä pahempaan kuivuusjaksoihin keväällä ja kesällä. (Ilmasto-opas 2019c.) Umpeenkasvu ja pensoittuminen ovat yleisiä myös suomalaisilla hakamailla ja muilla perinnebiotoopeilla. Jos Rolon ja Morenon (2019) tulokset pätevät myös Pohjois-Euroopassa sijaitsevilla hakamailla, voivat kuivuuden vaikutukset korostua nimenomaan umpeenkasvavilla kohteilla. Tällöin umpeenkasvun estämisestä tulee entistä tärkeämpää.

Yhteenveto

Suurin uhka perinnebiotooppien monimuotoisuudelle on umpeenkasvu, joka pääsääntöisesti johtuu hoidon päättymisestä tai vääränlaisesta hoidosta. (Lennartsson & Simonsson 2007). Ilmastonmuutos voi kuitenkin monella eri tavalla kiihdyttää umpeenkasvua, ja perinnebiotooppien kannalta merkittävimmät ilmastonmuutokseen liittyvät tekijät ovat juuri umpeenkasvua kiihdyttävät tekijät. Näitä ovat erityisesti lämpötilan nousu ja siihen liittyvä kasvukauden piteneminen. Rehevöityminen voi kiihtyä myös kasvavan sadannan takia, kun sateen mukana maahan tulee tyypeä ilmasta (Lennartsson & Simonsson 2007). Myös ilman hiilidioksidipitoisuuden nousu vaikuttaa kasvillisuuteen rehevöittävästi (Lehtomaa ym. 2018).

Lämpötila on pohjoisilla alueilla tärkein kasvillisuuden kasvua rajoittava tekijä. Siksi on luonnollista, että lämpötilan nousulla on kasvua ja siten umpeenkasvua kiihdyttävä vaikutus. Lämpötilan nousu lisää kasvien tuottavuutta, eli kiihdyttää umpeenkasvua, kun lämpimässä maaperässä hajottaminen tehostuu ja ravinteita vapautuu enemmän kasvien käyttöön (Lehtomaa ym. 2018).

Vaikka sademäärä ja kosteus eivät ole pohjoisilla alueilla yhtä vahvasti rajoittavia tekijöitä kuin lämpötila (Peñuelas ym. 2004), vaikuttavat niidenkin muutokset umpeenkasvuun paikallisesti. Alueilla, joilla kosteus lisääntyy, tulee umpeenkasvu kiihtymään (Lennartsson & Simonsson 2017).

Hoidon päättymisen aiheuttaa umpeenkasvua kaikilla perinnebiotooppityypeillä myös ilmastonmuutoksesta riippumatta. Koska ilmastonmuutos kiihdyttää umpeenkasvua, tulee perinnebiotooppien säilyminen vaatimaan jatkossa entistä enemmän hoitoa. Hoidosta tulee vaativampaa ja kalliimpaa, koska laidunnusta, niittoa ja rai-vausta tarvitaan enemmän (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2013).

Suomessa lähes kaikki perinnebiotooppityypit on luokiteltu äärimmäisen uhanalaisiksi (Lehtomaa ym. 2018). Perinnebiotoopit ovat riippuvaisia hoidosta muutenkin, ja myös ilmastonmuutoksen kannalta umpeenkasvun estäminen on ensisijaisen tärkeää. Myös pienet pinta-alat ja pirstaleisuus vaikuttavat perinnebiotooppien mahdollisuuksiin selvitä muuttuvissa olosuhteissa. Jotta perinnebiotoopit voisivat säilyä, pitäisi hoitoa tehostaa, hoidettuja kohteita ja suojelualueita laajentaa, ja niiden kytkeytyvyyttä parantaa (Buse ym. 2015, Vermaat ym. 2017).

Tunturit

Eija Kemppainen & Minna Turunen

Tunturiluonnon ominaispiirteet

Tuntureilla tarkoitetaan vuorimuodostumia, joilla on puuton lakiosa. Suomessa tunturialue kattaa noin 1,7 miljoonaa hehtaaria, mikä on noin 6 % Suomen maapinta-alasta (Pääkkö ym. 2018a). Eteläisillä tuntureillamme ei ole varsinaista arktis-alpiinisen kasvillisuuden luonnehtimaa tunturipaljakkaa, vaan niiden lakiosien puuttomuus johtuu talviaikaisista tekijöistä, kuten tykkylumen muodostumisesta (Norokorpi & Kärkkäinen 1985). Metsänrajan muodostaa Suomen pohjoisilla tuntureilla hieskoivun alalaji tunturikoivu (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*), mutta eteläisillä tuntureilla useimmiten havupuut.

Tunturialueelle ominaisia ovat routimisen tuloksena syntyneet geomorfologiset luontotyypit, kuten kuviomaat, vuotomaat ja routanummet, sekä lumenviipymät

ja lumenpysymät, joilla on lunta myös kasvukauden aikana. Tuntureilla esiintyy tyypillisesti myös kuivia ja tuulelle alttiita dyyni- ja deflaatiopintoja. Tunturien kasvillisuus määräytyy etenkin lämpötilan, maaperän, rinteiden suunnan sekä ilmastomantereisuus–mereisyys-vaihtelun perusteella. Suomen tunturialueella maaperä on yleensä karua ja varpukankaat vallitsevat. Enontekiön luoteisosissa Kõlivuoriston reunaosien kalkkialueilla esiintyy meillä harvinaista, kalkkia vaativaa tai suosivaa kasvillisuutta. Käsivarren tunturien uhanalaisiksi arvioitujen tunturiluontotyyppien esiintyvät mosaiikkimaisesti ja pienipiirteisesti vaihdellen (Euroola ym. 2003; ks. myös kalliot, Luku 3.8.).

Villistä tunturipeurasta kesytetty poro (*Rangifer tarandus* ssp. *tarandus*) kuuluu pohjoiseen tunturiluontoon. Yhdessä ilmastomuutoksen kanssa porolaidunnuksella on kasvillisuuteen ja luontotyyppien kehitykseen sekä myönteisiä että kielteisiä vaikutuksia. Perinteiseen porolaidunnukseen kuului kesä- ja talvilaidunten vuorottelu. Valtakunnan rajojen sulkeuduttua 1800-luvun loppupuoliskolla porolaidunnus jouduttiin sopeuttamaan aiempaa enemmän paikalleen sidotuksi. Tämä on aiheuttanut laiturien kulumista, tarvetta porojen lisäruointaan ja muutoksia tunturiluontoon (Kumpula & Turunen 2018). Suomen pohjoisosat ovat Euroopan unionin alueen ainoan alkuperäiskansan, saamelaisen, asuinalueita (ks. Tietolaatikko).

Ilmastomuutos ja saamelaiset

Ilmaston muuttuessa nopeimmin arktisilla alueilla saamelaiset ja muut paikalliset asukkaat joutuvat ensimmäisinä kohtaamaan muutoksen elinympäristössään ja joutuvat sopeuttamaan luontoon perustuvia elinkeinojaan sen mukaan. Saamelaisten perinteinen elämäntapa on vahvasti kytköksissä tunturiluontoon. Saamelaisten tärkeimpiä perinteisiä elinkeinoja ovat poronhoidon lisäksi kalastus, metsästys, keräily ja käsityöt (Saamelaiskäräjät 2019). Nykyään myös muun muassa metsätalous ja luontoon perustuva matkailu tarjoavat työpaikkoja.

Pohjois-Eurooppaa koskeneessa tutkimuksessa arvioitiin, että monet kulttuurisesti tärkeät, esimerkiksi raaka-aineina ja lääkeyrteinä käytetyt kasvit tulevat kärsimään ilmastomuutoksesta (Jansson ym. 2015; Markkula ym. 2019). Näitä kulttuurisesti tärkeitä avainlajeja (**cultural keystone species**) ovat muun muassa poro (*Rangifer tarandus* ssp. *tarandus*), tunturikoivu (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*), riekko (*Lagopus lagopus*), Tenon lohi (*Salmo salar*), väinönputki (*Angelica archangelica*), hilla (*Rubus chamaemorus*), puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*), mustikka (*V. myrtillus*) ja variksenmarja (*Empetrum nigrum*).

Kalastus ja riekonpyynti ovat tärkeitä pohjoisia elinkeinoja. Aiempaa leudemmat ja kosteammalla talvet, jolloin jääpeite on ohut ja lyhytaikainen, ovat aikaistaneet vaelluskalojen vaellusta. Lämmön lisääntyessä kalat ovat alttiita taudeille ja kuolleisuudelle. Lohen vaeluksen aikaistuminen voi johtaa meri- ja kutualueiden olosuhteiden muutokseen, mistä voi olla seurauksena sekä itse lohien että sen saalistajien esiintymisen muutoksia (Jansson & Jansson 2009; Otero ym. 2014). Riekkokantojen taantumisen arvioidaan jatkuvan (Jansson ym. 2015; Kozma ym. 2018). Riekoilla on vaikeuksia kaivaa talvisuojaa eli kieppiä jäiseen lumeen, ja korkeiden kesälämpötilojen on todettu heikentävän lajin lisääntymispotentiaalia (Selås ym. 2011).

Lämpösumman kasvaessa marjojen kasvu ja tuotto kasvavat, mutta talvien lämpeneminen ja ajoittaiset talvipakkaset saattavat heikentää marjojen tuottoa. Svenssonin ym. (2018) mukaan subarktisten koivikoiden mustikkakankaat muuttuvat vähitellen puolukkavaltaisiksi. Hillan on jo todettu taantuneen Suomessa ja muualla arktisella alueella (Wallenius 1999; Callaghan ym. 2005) kevään aikaistuttua, jolloin pölyttäjien vähyys rajoittaa hillan marjomista (mm. Aerts ym. 2004). Hillan taantumiseen vaikuttaa myös palsojen sulaminen.

Väinönputken arvellaan levittäytyvän tunturialueella nykyistä korkeammalle ja pohjoisemmaksi, joskin kilpailu muiden kasvien kanssa voi rajoittaa kasvin levittäytymistä (Kaarlejärvi & Olofsson 2014; Pospelova 2017).

Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin yhteydessä tehtiin poronhoitajille kysely siitä, min-kälaisia muutoksia he ovat havainneet tunturiluonnossa viimeisten 30 vuoden kuluessa. Kyse-lyn mukaan poronhoitajat ovat havainneet muutoksia, jotka ovat samansuuntaisia sääasemilta saatujen tulosten kanssa (Turunen ym. 2018; Markkula ym. 2019; Rasmus ym. 2020). Näitä ovat muun muassa kesien, keväiden, syksyjen ja erityisesti talvien lämpeneminen, roudan väheneminen, lumipeitteen tulon myöhentyminen, lumipeitteisen ajan lyhentyminen, talvien vesisateiden lisääntyminen ja talvisäiden muuttuminen aiempaa epävakaisemmiksi.

Ilmaston muuttuessa saamelaiset ja muut paikalliset asukkaat joutuvat sopeutumaan uusiin olosuhteisiin. Maankäytön muutokset yhdessä ilmastomuutoksen kanssa vaikuttavat paikallisiin elinkeinoihin ja kulttuuriin, kuten poronhoitoon. Perinteiseen tietoon pohjautuva elämänmuoto, toimintatavat, käytännöt ja traditiot eivät enää toimi muuttuneissa ympäris-töoloissa kuten ennen. Perinteisten elinkeinojen säilyttämiseksi on muun muassa tärkeää turvata riittävän laajat ja rauhalliset laidunalueet, joilla poronhoitajat voivat vapaasti tehdä uudenlaisia valintoja poronhoidon mahdollistamiseksi muuttuvissa olosuhteissa (Markkula ym. 2019). Perinteisten elämäntapojen sekä kulttuurisesti tärkeiden elinympäristöjen, lajien ja ekosysteemipalveluiden turvaamisesta muuttuvassa ilmastossa tarvitaan lisää tutkimusta.

3.6.2.

Tunturiluontotyyppien uhanalaisuuden arviointi

Ilmastomuutoksen vaikutuksia tunturiluontoon ja tunturien luontotyypeihin tar-kasteltiin yksityiskohtaisesti luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnin yhteydessä (Pääkkö ym. 2018a; 2018b; Stark 2018; Turunen ym. 2018). Tässä raportissa hyödyn-netään arvioinnin tueksi tehtyä kirjallisuusselvitystä Suomen tunturiluonnosta ja ilmastomuutoksesta (Turunen ym. 2018). Luontotyyppien punaisessa kirjassa on kuvattu myös muita arvioinnissa käytettyjä tietolähteitä ja menetelmiä (Pääkkö ym. 2018a). Niskanen (2018) mallinsi eräiden arktis-alpiinisten tunturikasvien esiintymis-alueita ajanjaksolla 2040–2069 eri ilmastoskenaarioiden toteutuessa. Niittynen (2017) tarkasteli satelliittikuvilta kesään viipyyviä lumilaikkuja ja niiden koon muutoksia sekä mallinsi lumilaikkujen koon kehitystä vuosina 1980–2040 Haltin alueella.

Tunturiluontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa mukana olleista 53 tunturien alimman hierarkiatason arviointiyksiköstä arvioitiin uhanalaisiksi 38 %, ja ne katta-vat noin 40 % tunturiluontotyyppien kokonaisalasta. Merkittävimmät tunturiluon-totyyppien tilaan vaikuttavat tekijät ovat ilmastomuutos ja herbivoria, erityisesti porojen kesälaidunnus. Yhtä lukuun ottamatta kaikilla uhanalaisilla tunturiluon-totyypeillä ilmastomuutos tai ilmastomuutoksen ja poron aiheuttaman laidun-nuspaineen yhteisvaikutus arvioitiin merkittävimmäksi uhanalaisuuden syyksi. Uhkatekijänä ilmastomuutos on merkittävin lumesta ja routimisesta riippuvaisille luontotyypeille. Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin mukaan tunturiluonnon tila on heikentynyt ja sen arvioidaan edelleen heikentyvän etenkin ilmastomuutok-sen vaikutuksesta. Säilyväksi arvioitiin vain 6 % tunturiluontotyyppien kokonais-pinta-alasta. (Pääkkö ym. 2018a.)

3.6.3.

Porolaidunnuksen vaikutukset

Intensiivinen porojen kesälaidunnus vaikuttaa monin tavoin kielteisesti kasvien kasvuun, itämiseen ja taimettumiseen (mm. Juntunen & Neuvonen 2006). Toisaalta porolaidunnus hidastaa tuntureiden varvikoitumista, pensoittumista ja metsitymistä (Olofsson ym. 2009; Ravolainen ym. 2014). Kohtuullinen laidunnuspaine edistää etenkin rehevien kasvupaikkojen pysymistä avoimina, sillä laidunnus estää tehokkaasti pensaikon leviämistä. Mikäli tunturikankaiden umpeenkasvu etenee ilmastonmuutoksen seurauksena, tuo porojen tallaus ja laidunnus kasvillisuuteen aukkoja, jotka ovat tärkeitä kilpailullisesti heikkojen tunturikankaiden lajien sementaamien vakiintumiselle. Siten porot ylläpitävät kasvillisuuden diversiteettiä (Klanderud ym. 2017).

Sen sijaan voimakas ympärivuotinen laidunnuspaine muuttaa kasvillisuutta ja maaperää ja heikentää siten luontotyyppien laatua, millä voi olla vaikutuksia niiden kykyyn sopeutua ilmastonmuutokseen. Jäkälikköjen kuluminen on ollut nopeaa 1970-luvulta lähtien. Etenkin kuivien tunturikoivikoiden laatu uhkaa heiketä edelleen, sillä ilmastonmuutoksen seurauksena lisääntyvät mittarituhot heikentävät ja tuhoavat koivikoita, ja voimakkaan kesälaidunnuspaineen seurauksena niiden uudistuminen saattaa estyä. Tunturikankailla edellä mainitun kaltaista negatiivista kehitystä ei ole nähtävissä, vaan laidunnus ennemminkin vähentää lämpenemisestä johtuvaa pensoittumista. (Kumpula & Turunen 2018; Pääkkö ym. 2018b.)

Porojen kesälaidunnuksen vaikutuksia lumen sulamiseen, heijastuskykyyn (albedo) ja energiatasapainoon on tutkittu satelliittikuva-analyysin avulla muun muassa Suomessa ja Norjassa (Cohen ym. 2013). Alustavien tulosten mukaan kevättalvinen auringon säteilyenergian heijastuskyky on kesälaitumilla voimakkaampi kuin laiduntamattomilla alueilla, sillä laidunnetut varvut ja pensaas jäävät lumenpinnan alapuolelle. Tämän vuoksi lumi sulaa kesälaitumilla hitaammin ja auringon säteilyenergiaa heijastuu takaisin enemmän kuin laiduntamattomilla alueilla.

3.6.4.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset tunturiympäristöissä

Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät tunturiluonnossa herkimmin etenkin lumesta, jäätä, pakkasesta ja routimisesta sekä tietyntylaisista kosteusoloista riippuvaisen luontotyyppien määrässä ja laadussa. Ilmaston lämpeneminen ja kosteusolojen vaihtelu aiheuttavat laadun muutoksia useissa luontotyypeissä. Kasvillisuus voi muuttua esimerkiksi kasvilajien kilpailun kautta, ja muutoksia tapahtuu myös muissa eliölajiryhmissä, kuten kasvinsyöjien, tuhohyönteisten, tautien sekä vieraslajien, esimerkiksi yhä pohjoisemmaksi leviävän supikoiran, määrässä ja esiintymisessä. Ilmaston lämpeneminen voi johtaa myös perinnebiotooppien monimuotoisuuden vähenemiseen ja hoitotarpeen lisääntymiseen. Tärkeitä tunturialueen perinnebiotooppeja ovat esimerkiksi jokivarsien tulvaniityt, saamelaiden kyläkentät ja kirkkotupien ympäristöt sekä poroerotuspaikat (Juntunen 2008). Ilmaston lämpenemisen vaikutukset näkyvät myös tunturialueen vesissä (Luku 3.4.) ja soilla. Sen sijaan vaikutukset kallioihin lienevät vähäisemmät (Luku 3.8.). Tuntureiden kallioiden ja kurujen pohjoisjyrkänteet voivatkin toimia refugioina eli "taskuina" viileään ilmastoon sopeutuneelle tunturilajistolle.

Ilmastonmuutos aiheuttaa monenlaisia suoria ja välillisiä vaikutuksia herkkään tunturikasvillisuuteen, vaikka useimmilla tunturikasveilla onkin laaja erilaisten lämpö- ja sääolojen sietokyky, ja pitkäikäiset kasvit ovat sopeutuneet eri tavoin kasvupaikoilleen. Uhanalaisimpia ovat kylmiin oloihin sopeutuneet lajit, joilla on erityisiä kasvupaikkavaatimuksia. Näitä ovat esimerkiksi Kölivuoriston kalkinvaatijat, joiden

levinneisyysalue ulottuu vain hiukan Suomen puolelle. Ilmastomuutokselle herkkiä ovat myös sellaiset lyhytikäiset lajit, joiden säilyminen ja levittäytyminen uusille kasvupaikoille edellyttää hyvää leviämiskykyä, tai joiden taimettuminen vaatii kilpailutonta kasvualustaa. Ilmaston lämpenemiselle herkimpiä tunturikasvilajeja on esitelty luvussa 2.2.2.3. ja liitteessä 1.

3.6.4.1.

Keskeiset ympäristötekijät ja ilmastomuutoksen vaikutukset niihin

Routa: Routajakson on havaittu lyhentyneen Suomessa sekä kevästä että syksystä. Lämpötilan kohoaminen ja kasvukauden aikaistuminen keväällä sulattaa roudan, ja syksyjen lämmitettyä routaa muodostuu aiempaa myöhempään (Schmidt 2011). Roudan maksimisyvyyden on havaittu selvästi pienentyneen Lapissa Inarissa ja Utsjoella 1970-luvulta lähtien. Roudan maksimisyvyys on pienentynyt enemmän metsissä ja avoimilla kankailla kuin soilla (Suomen ympäristökeskus, Vesikeskus 2018; Turunen ym. 2018). Tulevaisuudessa routamaita arvellaan olevan yhä vähemmän (Jylhä ym. 2012). Toisaalta porolaidunnus voi edistää routimista, kun porot rikkovat ohuen lumipeitteen laiduntaessaan.

Lumi, jää ja pakkanen: Tunturialueen lumipeitteen paksuudessa ei ole havaittu merkittäviä muutoksia 1970-luvulta lähtien (Suomen ympäristökeskus, Vesikeskus 2018; Turunen ym. 2018; Markkula ym. 2019). Tulevaisuudessa tunturialueen lumipeitteisyyden arvioidaan kuitenkin vähenevän (Niittynen 2017, Niittynen ym. 2018). Lumipeitteinen aika on jo lyhentynyt: lumi sulaa keväällä aiempaa aikaisemmin, ja pakkasen, jää ja lumi saapuvat tuntureille yhä myöhemmin syksyllä (Rasmus ym. 2014; Luomaranta ym. 2019). Myös pakkaspäivien määrä on vähentynyt (Kivinen ym. 2017). Lumipeitteen vähentyminen keväällä lisää kasvien pakkasvaurioiden vaaraa, kun kukinta ja kasvukauden alkaminen aikaistuvat, mutta samaan aikaan sääolot pysyvät ääreinä. Talvisen kosteuden lisääntyminen edistää tykkylumen muodostumista puihin, mikä vaikuttaa tuntureiden metsänrajan sijaintiin. Kosteiden syksyjen pidentyessä kasvillisuuteen tulee helposti home- ja ruostesieniä (Markkula ym. 2019). Vesisade: Skandinavian pohjoisosissa on todettu vuotuisen sademäärän kasvaneen 2000-luvulla (Garamvölgyi & Hufnagel 2013). Vesisateiden lisääntyminen muuttaa kasvillisuutta, aiheuttaa sammaloitumista ja edistää pensoittumista. Tuntureilla sade tulee yhä enemmän vetenä myös talvella (Jylhä ym. 2012; Rasmus ym. 2014; Kivinen ym. 2017; Lépy & Pasanen 2017). Talvisateet sulattavat lumipeitettä ja aiheuttavat lumen ja maan pintakerroksen jäätymistä. Sen sijaan kesän ja syksyn sateiden ei ole havaittu merkitsevästi lisääntyneen (Virtanen ym. 2010; Lépy & Pasanen 2017; Maliniemi ym. 2018).

Myrskyt ja tuuli: Ilmaston lämpeneminen voi lisätä myrskyjä (BACC II Author Team 2015). Myrskytuulten arvioidaan voimistuvan Suomen merialueiden ja rannikoiden lisäksi myös sisämaassa (Groenemeijer ym. 2016). Myrskytuulet vaikeuttavat puiden kasvua metsänrajalla (Gregow ym. 2011; Lehtonen ym. 2014). Toisaalta myrskyt ja tuulet saattavat ylläpitää avointen hiekkakenttien säilymistä.

Lämpötilan nousu: Kaikkien vuodenaikojen lämpötilat ovat nousseet viimeisten 30–50 vuoden kuluessa (Virtanen ym. 2010; Kivinen ym. 2012; Kivinen & Rasmus 2015; Lépy & Pasanen 2017). Lämpötilan nousu on jo aiheuttanut muun muassa palsojen sulamista (Luoto & Seppälä 2003). Lämmön lisääntyminen edistää kasvien kasvua, kukintaa ja siementuottoa sekä helpottaa puiden ja pensaiden leviämistä ja menestymistä. Toisaalta lämpeneminen aiheuttaa kasvupaikkojen kuivumista ja varvikoitumista kuivuuskausien yleistymisen myötä (mm. Virtanen ym. 2010). Lämpeneminen myös lisää hyönteistuhoja ja tautiriskiä. Lämpenemisen haitalliset

vaikutukset kohdistuvat voimakkaina etenkin lumesta ja routimisesta riippuvaisiin luontotyyppeihin ja tunturialueen vesistöihin (ks. sisävedet, Luku 3.4.). Tulevaisuudessa suuret lämpötilavaihtelut ovat mahdollisia. Lämmön ja äärevien olojen myötä lajien kilpailusuhteet voivat muuttua, mikä tekee muutosten ennustamisesta vaikeaa (Turunen ym. 2018; Markkula ym. 2019).

Kasvukauden piteneminen: Lämpenemisen seurauksena kasvukausi pitenee ja lämpösumma kasvaa (Ruosteenoja ym. 2016). Kasvukauden alku on aikaistunut (Markkula ym. 2019). Tämä aiheuttaa muutoksia lajisuhteissa: kilpailun vuoksi jäkäläköt ja heikot kilpailijat vähenevät. Kasvukauden piteneminen voi helpottaa joidenkin tunturilajien lisääntymistä, ja jälkeläiset ehtivät kasvaa syksyllä riittävästi selviytyäkseen talvesta. Uusia lajeja leviää tulevaisuudessa pohjoiseen kasvukauden pidentyessä.

Fenologiset muutokset: Lämmön lisääntyminen ja kasvukauden piteneminen aiheuttaa kasvien lehtien puhkeamisen ja kukinnan aikaistumisen (Ahola ym. 2004; Lappalainen ym. 2008). Kukinnan aikaistuessa ja äärevien olojen lisääntyessä pakkasvauriot uhkaavat liian aikaisin kukkivia lajeja. Toisaalta pölyttäjien puute voi olla huomattava kasvien lisääntymistä haittaava tekijä tulevaisuudessa, jos liian varhainen kukinta yleistyy kevään aikaistuessa.

Voimakkaat säävaihtelut: Äärimmäisen kylmien säiden on havaittu vähentyneen viimeisen 100 vuoden aikana, ja äärimmäisen lämpimät säät ovat lisääntyneet etenkin keväällä ja syksyllä (Kivinen ym. 2017). Lämpötilojen vaihtelu 0 asteen molemmin puolin ja vesisateet lumipeitteisenä aikana aiheuttavat maan ja lumen pinnan jäätymistä (Rasmus ym. 2016, 2018; Turunen ym. 2016; Eira ym. 2018). Tämä ilmiö on lisääntynyt viime vuosina (Rasmus ym. 2018). Äärevien olosuhteiden lisääntyminen voi hidastaa lämpenemisen aiheuttamia muutoksia esimerkiksi joidenkin tunturiluontotyyppien rehevöitymisessä ja umpeenkasvussa (mm. Juntunen & Neuvonen 2006).

3.6.4.2.

Ilmastonmuutos metsänrajalla

Tunturikoivu- ja havumetsärajojen arvioidaan nousevan tunturialueella ilmastonmuutoksen seurauksena (Juntunen & Neuvonen 2006; Sutinen ym. 2012). Ruotsin Kölivuoristossa on jo havaittu tunturikoivun puurajan siirtyneen viimeisten 50 vuoden kuluessa joitakin kymmeniä metrejä ylöspäin (Kullman 2002). Myös pajujen, muiden pensaiden ja varpujen kasvun on todettu lisääntyneen avoimilla tunturiluontotyypeillä (mm. Pajunen ym. 2008; Kittinen ym. 2009; Olofsson ym. 2009; Ravolainen ym. 2014; Christie ym. 2015). Puuston antama suoja pitää yölämpötilan puustoisilla paikoilla korkeampana kuin avoimella tunturikankaalla. Tämä helpottaa puiden siementaimien vakiintumista ja edistää entisestään tuntureiden pensoittumista ja puuston leviämistä (D'Odorico ym. 2013).

Kasvillisuuden muutoksiin vaikuttavat lämpötilan lisäksi muun muassa maaston muodot, maa- ja kallioperä, laidunnuksen voimakkuus ja tuuliolosuhteet. Maaperän ravinteisuus vaikuttaa puulajisuhteisiin: viljavilla mailla kuusi muodostaa metsänrajan, koska se kestää tuholaisia ja ankaria sääolosuhteita paremmin kuin mänty (Franke ym. 2015). Kasvillisuuden kehitys riippuu vahvasti paikallisista oloista. Lisäksi kasvillisuustyypit voivat kilpailusuhteiden muuttuessa muovautua aivan uudenlaisiksi, joten tulevaisuuden kehityssuuntia on vaikea ennustaa. Selkeimmät muutokset on havaittu boreaalisen metsän ja tunturipaljakan vaihtumisvyöhykkeessä, missä lumen suojaamalla puuttomilla kankailla monien lajien runsaussuhteet ovat jo muuttuneet, ja esimerkiksi variksenmarjan ja seinäsammalen peittävyyydet

ovat lisääntyneet merkitsevästi (Vuorinen ym. 2017; Maliniemi ym. 2018). Niskasen mallinnuksessa mukana olleista kasveista 71–92 % on ennustettu menettävän lajille soveltuvan ilmastovyöhykkeen vuoteen 2100 mennessä (Niskanen ym. 2019).

Tunturikoivikkojen leviämiseen vaikuttavat ilmaston lämpenemisen lisäksi muun muassa maaperän ominaisuudet ja vesitalous. Tämän vuoksi tunturikoivun leviämisessä tulee olemaan suurta alueellista vaihtelua (Grau ym. 2012; Markkula ym. 2019). Lisäksi tunturikoivikoihin vaikuttavat tunturimittarin (*Epirrita autumnata*) ja hallamittarin (*Operophtera brumata*) aiheuttamat tuhot, joiden arvioidaan pinta-alallisesti laajenevan ja esiintyvän aiempaa useammin ilmaston lämmetessä, sillä lämpenevät talvet mahdollistavat toukkien talvehtimisen munina (mm. Virtanen ym. 1998; Virtanen & Neuvonen 1999). Myös porolaidunnus vaikuttaa siihen, miten mittareiden syömät tunturikoivikot elpyvät.

Männyn puurajan eteneminen on jatkunut jo kauan, mutta se on hyvin hidasta eikä selvää metsittymistä ole vielä havaittu (Kullman 2007; Sutinen ym. 2011). Männyn lisääntymisen edellytykset paranevat ilmaston lämmetessä, mutta nopeaa leviämistä ei liene odotettavissa, sillä männyn leviämiseen vaikuttavat kesä- ja talvilämpötilojen lisäksi sademäärä, lumipeite, tuuliolot, maaperän laatu ja kasvinsyöjien, kuten porojen esiintyminen (Aakala ym. 2014). Myös tuhohyönteisten, esimerkiksi mäntypistiäisten (*Diprionidae spp.*) yleistyminen voi vaikuttaa männyn elinvoimaisuuteen metsänrajalla (Neuvonen ym. 1999). Männyn arvioidaan kuitenkin leviävän sekä pohjoisemmaksi että puurajalla ylemmäs tunturien rinteillä, sillä siellä kilpailu valosta ja ravinteista sekä pensaikon ja sammalten kanssa eivät ole rajoittavia tekijöitä (Autio & Colpaert 2005). Havumetsän leviämiselle herkimpiä alueita mallinnettiin luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnin yhteydessä (Turunen ym. 2018). Männyn leviäminen vaikuttaa havumetsän leviämiselle herkällä alueella sijaitsevien luontotyyppien määrään ja laatuun (Pääkkö ym. 2018a). Myös poronhoitajat ovat jo havainneet männyn levinneen aiemmin avoimille tunturialueille esimerkiksi Inarin Petsikossa (Markkula ym. 2019).

3.6.4.3.

Ilmastomuutoksen vaikutukset luontodirektiivin tunturiluontotyypeihin

Luontodirektiivin liitteessä I mainittuja tunturiluontotyyppisiä ovat sekä Suomen boreaalisella (BOR) että alpiinisella (ALP) alueella esiintyvät tunturikoivikot (9040), tunturikankaat (4060), tunturipajukot (4080) ja karut tunturiniityt (6150) sekä tuntureiden vyörySORaikot ja lohkarikot (8110). Ainoastaan alpiinisella alueella tavataan tunturiluontotyypeistä pensaskanervavarvikoita (3230) sekä tuntureiden kalkki- ja virtavesivaikutteisia sara- ja vihviläkasvustoja (7240). Tunturijoet ja purot (3220) käsitellään tässä raportissa sisävesien yhteydessä (Luku 3.4.).

Luontodirektiivin raportoinnissa kaudelta 2013–2018 tunturikoivikoiden (9040) ja tunturikankaiden (4060) suojelutaso arvioitiin sekä boreaalisella että alpiinisella alueella epäsuotuisaksi ja edelleen heikentyväksi (U1– tai U2–), muiden luontotyyppien tila arvioitiin suotuisaksi ja vakaaksi (FV=) (Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus 2019; Liite 3). Ilmastomuutos arvioitiin merkittäväksi paineeksi ja/tai tulevaisuuden uhkatekijäksi boreaalisella ja alpiinisella alueella tunturikoivikoissa, tunturikankailla ja karuilla tunturiniityillä (Liite 3). Ilmastomuutoksen aiheuttamien paineiden ja uhkien arvioitiin kohdentuvan erityisesti luontotyyppin sijaintiin, laajuuteen ja/tai laatuun. Muilla luontotyypeillä ilmastomuutoksen ei arvioitu oleva merkittävä paine tai lähitulevaisuuden uhkatekijä.

3.6.4.3.1.

Tunturikoivikot

Luontodirektiivin tunturikoivikoita (9040) esiintyy meillä laaja-alaisesti. Monet tunturikoivun ominaisuudet lisäävät niiden kestävyyttä pohjoisissa olosuhteissa: moni-

runkoisuus, hyvä vesomiskyky, puolustuskyky kasvinsyöjiä vastaan (katkeroaineet), pakkaskestävyys ja kuivuudensieto. Lisäksi tunturikoivun rungon kuoren kyky osallistua yhteyttämiseen edistää sen kasvua.

Luontodirektiivin tunturikoivikoita (9040) vastaavat luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin tunturikoivikot lukuun ottamatta tunturikoivulehtoja, jotka kuuluvat luontodirektiivin luontotyyppiin lehdot (9050). Luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa tunturikoivikoista erotettiin useita eri luontotyypppejä, mutta tunturikoivikot arvioitiin ryhmätasolla vaarantuneeksi (VU). Tunturikoivikot hyötyvät ilmastonmuutoksesta, koska koivujen kasvu paranee lämmön lisääntyessä. Uhkana ovat ilmastonmuutoksen seurauksena lisääntyvät ja laajenevat mittarituhot (Jepsen ym. 2008; Karlsen ym. 2013). Toistuvien mittarituhojen seurauksena voi syntyä niin kutsuttua sekundaaripaljakkaa, jossa tunturikoivu ei ole pystynyt enää tuhojen jälkeen uudistumaan (Sihvo 2002). Mänty voi ilmaston lämmetessä levittäytyä tunturikoivikoiden esiintymisalueelle. Toisaalta porojen kesälaidunnus heikentää tunturikoivujen uudistumista ja estää metsänrajan nousua ylemmäs tunturiin. Tunturikoivikoiden laadun heikentymisen syyksi ja uhkatekijäksi arvioitiin etenkin porolaidunnuksen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus (Pääkkö ym. 2018b).

3.6.4.3.2.

Tunturikankaat

Luontodirektiivin tunturikankaisiin (4060) kuuluvat luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin tunturikoivupensaikot, tunturikankaat, kuviomaista ja vuotomaista kasvipeitteiset tyypit sekä paljakalla sijaitsevat routanummet.

Tunturikoivupensaikot on laaja-alainen karun maaperän, paikallisten tuuliolojen ja mantereisen ilmaston muokkaama pensaikkotyyppi, joka arvioitiin luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa silmälläpidettäväksi (NT) (Pääkkö ym. 2018b). Luontotyyppiä luonnehtivat äärevät olot ja runsaslumisuus. Ilmastonmuutos voi lisätä tunturikoivupensaikkojen mittarituhoja, jolloin luontotyyppin uudistuminen voi estyä. Toisaalta lisääntyvä lämpö voi lisätä pensaikon kasvua ja leviämistä (Turunen ym. 2018). Myös mänty voi lisääntyä tunturipensaikoissa, mutta talvisen kosteuden lisääntyessä tykky tulee runsaammaksi, ja se voi hidastaa männyn leviämistä.

Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin **tunturikankaat** ovat puuttomia tai lähes puuttomia, ja niiden kasvillisuuteen vaikuttaa lumensyvyys, ilmaston mantereisuuden, mereisyyden ja korkeuden luoma vaihtelu. Myös tunturikoivikkotuhojen seurauksena syntyvät sekundaaripaljakat voidaan ainakin ryhmätasolla lukea tunturikankaisiin. Tunturikankaat arvioitiin ryhmätasolla silmälläpidettäväksi (NT) voimakkaan laidunnuspaineen vuoksi (Pääkkö ym. 2018b). Porolaidunnus voi aiheuttaa maaperän eroosiota ja maa-aineksen huuhtoutumista, etenkin tuulikankailla. Toisaalta voimakas laidunnus voi estää metsärajan nousua ja pensoittumista. Myös ilmastonmuutoksella on sekä myönteisiä että kielteisiä vaikutuksia tunturikankaisiin: äärevät olot ylläpitävät avoimuutta, mutta lämpö lisää varvikoitumista, sammuiloitumista, pensoittumista ja metsänrajan nousua. Kanervakankaat ovat herkimpiä pensoittumaan ja metsittymään. Lauhojen talvien yleistyessä lumipeitteinen aika lyhenee ja äkilliset lämpötilavaihtelut lisääntyvät, minkä seurauksena esimerkiksi variksenmarjakankaat saattavat altistua voimakkailla ja laajoilla pakkasvaurioille (Bokhorst ym. 2009, 2012).

Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa silmälläpidettäväksi (NT) arvioidusta **kuviomaista ja vuotomaista** kasvipeitteiset tyypit sisältyvät luontodirektiivin tunturikankaisiin (4060). Kuviomaita ja vuotomaita esiintyy moreenin peittämällä tuntureiden lakialueilla ja tunturiselänteillä (Pääkkö ym. 2018b). Luontodirektiivin tunturikankaisiin kuuluvat myös vaarantuneeksi (VU) arvioidut **routanummet** (vain paljakan routanummet) (Pääkkö ym. 2018b). Routanummet ovat puuttomia tai lähes

puuttomia alueita, jotka sijaitsevat tasaisella tai loivasti viettävällä kivennäis- ja turvemaan vaihettumisalueella, missä pohjavesi on lähellä maanpintaa.

Kuviomaiden ja vuotomaiden sekä routanummien synnyssä on routimisella tärkeä merkitys. Routimisen voimakkuuteen vaikuttaa maaperä, sen kosteus ja lumen suoja. Routiminen estää humuskerroksen syntymisen ja happamoitumisen, mikä mahdollistaa vaatelaiden kasvien esiintymisen kuviomailla (mm. Rintanen 1968). Lisäksi aktiivisesti liikkeessä olevissa vuotomaissa paljastuu koko ajan maata, jossa heikot kilpailijat menestyvät. Kuviomaiden kasvillisuus onkin hyvin pienipiirteistä. Routanummilla voimakas routiminen aikaansaa maaperän tilavuuden muutoksia, mikä estää puiden ja pensaiden kasvun. Routanummet ovat niukkaravinteisia, niihin muodostuu maamättäitä ja saarekkeita, ja routimisen välipinnat ovat kokonaan kasvittomia. Ilmastonmuutos tulee ajan oloon heikentämään routimisen voimakkuutta ja kestoja (mm. Rasmus ym. 2015; Aalto ym. 2017), mikä voi aiheuttaa kuviomaiden ja routanummien umpeenkasvua. Routimisen vähetessä luontotyyppien rakennepiirteet heikkenevät, ne voivat soistua ja muuttua vaivaiskoivukankaiksi.

3.6.4.3.3.

Tunturipajukot

Luontodirektiivin tunturipajukoihin (4080) kuuluvat luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa säilyviksi (LC) arvioidut tunturikangaspajukot ja pajukkoiset puronvarsiruohostot. **Tunturikangaspajukkoja** ovat kivennäismailla sijaitsevat alle kahden metrin korkuiset pensaikat. Ne ovat suppea-alaisia ja palautuvat hyvin porolaidunnuksesta. Ilmastonmuutos ei vaikuta tunturikangaspajukoihin, sillä ilmastomuutos ja porolaidunnus tasapainottavat toistensa vaikutuksia.

Pajukkoisia puronvarsiruohostoja luonnehtivat harmaapajupensaikat ja suurruohoiset niitty laikut. Niitä esiintyy laajoilla alueilla puronvarsilla ja laikkuina valuesiuomissa. Edustavimmat puronvarsiruohostot sijaitsevat Käsivarren suurtuntureilla. Kummankaan tunturipajukkotyypin ei ole havaittu muuttuneen eikä niiden arvioida muuttuvan merkittävästi ilmastomuutoksen vuoksi (Pääkkö ym. 2018b). Tunturipajukot voivat jopa hyötyä ilmastomuutoksen aiheuttamasta lämpenemisestä, sillä viitteitä kaikkien pensaikkojen laajenemisesta arktisella alueella on esitetty useissa lähteissä (mm. Vowles & Björk 2018).

3.6.4.3.4.

Karut tunturiniityt

Luontodirektiivin karuihin tunturiniittyihin (6150) kuuluvat luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin tunturien heinäkankaat, tunturien pienruohoniityt ja osia lumen-viipymistä. Lisäksi heinäkankaisiin ja lumenviipymiin liittyvät kuvio- ja vuotomaat voivat kuulua karuihin tunturiniittyihin (ks. tunturikankaat, Luku 3.6.4.3.2.).

Tunturien heinäkankaat ovat kuivia alueita, joilla heinät ja sarat vallitsevat ja jäkälät ovat runsaita. **Tunturien pienruohoniityt** ovat pienialaisia niittyjä, joilla on monipuolinen kasvilajisto. Ne keskittyvät keväisten valu- ja sulamisvesien luonnetimiin kohtiin, kuten puronvarsiin sekä lumensuojaisiin paikkoihin pahtojen alla ja rinteillä. Nämä tyypit arvioitiin säilyviksi (LC) (Pääkkö ym. 2018b). Ilmastonmuutos voi aiheuttaa näiden luontotyyppien varvikoitumista ja pensoittumista osalla esiintymistä, mutta toisaalta porolaidunnus ylläpitää monipuolista kasvilajistoa.

Osa **lumenviipymistä** voidaan lukea karuihin tunturiniittyihin (6150). Lumenviipymiä esiintyy metsänrajan yläpuolella sulamis- ja purovesien kostuttamalla paikoilla tunturien paksulumisissa painanteissa, joissa maaperän humuskerros on pääosin ohut tai puuttuu kokonaan. Näillä paikoilla lumi sulaa vasta kesäkuun lopun tai heinä-elokuun aikana. Lumenviipymät arvioitiin äärimmäisen uhanalaisiksi (CR) ja niiden kehityssuunta heikkeneväksi (Pääkkö ym. 2018b). Maan pintakerroksen

lämpenemisen sekä lumisen ajan vähenemisen ja kuivumisen seurauksena lumen-
viipymille leviää niille epätavallista lajistoa (Björk & Molau 2007; Kivinen ym. 2012).

Luontotyyppien punaisessa kirjassa erotetuilla **lumenpysymillä** ei ole suoraa
vastinetta luontodirektiivin luontotyypeissä, mutta ilmastonmuutoksen vaikutusten
kannalta ne ovat oleellisia. Lumenpysymillä lumipeite ei sula lainkaan vuosittain
kasvukauden aikana. Maaperä on paljasta kasvitonta maata tai kivikkoa. Lumenpy-
symät arvioitiin äärimmäisen uhanalaisiksi (CR) ilmastonmuutoksen vuoksi, ja nii-
den kehityssuunta arvioitiin heikkeneväksi (Pääkkö ym. 2018b). Suomen suurimman
yhtenäisen, Enontekiöllä sijaitsevan lumenpysymän on jo havaittu pienentyneen ja
hajonneen osiin (Hirvas ym. 2005; Vanhala & Lintinen 2009).

Lumenviipymien ja -pysymien lumipeitteen paksuudessa ja lumilaikkujen esiin-
tymisessä on voimakasta vuotuista vaihtelua. Niiden esiintyminen riippuu lumi- ja
vesisateista sekä vuoden keskilämpötilasta, etenkin kevään ja alkutalven lämpöti-
loista (Kivinen ym. 2012). Halti on yksi harvoista tuntureista Suomessa, jolla esiintyy
erittäin myöhään sulavia lumenviipymiä ja lumenpysymiä. Landsat-satelliittikuvien
perusteella tarkasteltiin vasta heinä- tai elokuussa sulavien lumilaikkujen esiinty-
mistä Haltin alueella 1980-luvulta lähtien ja ennustettiin tulevaa vähenemistä mallin-
tamalla (Niittynen 2017). Mallinnuksen mukaan lumenpysymät katoavat kokonaan
Haltin otosalueelta vuoteen 2040 mennessä ja elokuun aikana sulavien lumenviipy-
mien ala vähenee 1,2 neliökilometriin (Niittynen 2017). Poronhoitajille suunnatussa
kyselyssä suurin osa heistä oli jo havainnut lumilaikkujen vähentyneen (Markkula
ym. 2019). Lumipeitteen kadotessa lumenviipymille ja lumenpysymille tyypillinen
lajisto, kuten lumilevät ja -sienet, häviävät vähitellen (Aalto ym. 2017). Kasvupaikat
voivat kasvaa umpeen tai kuivua.

3.6.4.3.5.

Pensaskanervavarvikot

Luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa pensaskanervikot (3230) kuuluivat
virtavesiin lukeutuviin meanderoiviin jokiin, jotka arvioitiin vähäisten tietojen
vuoksi puutteellisesti tunnetuiksi (DD) (Lammi ym. 2018b). Luontotyyppin määrässä
ja laadussa on ajoittaisen tulvimisen aiheuttamaa luontaista vaihtelua eikä ilmas-
tonmuutos ole niille merkittävä uhkatekijä. Meanderoivien jokiuomien rantojen eri
suksessiovaiheissa muodostuu erikoistuneita kasvillisuusyhteisöjä. Niillä esiintyy
harvinaisten ja uhanalaisten lajien populaatioita, kuten Pulmankijoen alaosan pen-
saskanervavarvikot (*Myricaria germanica*) (Tynys & Stolt 2004), joille ilmastonmuutos
voi olla uhka tulevaisuudessa.

3.6.4.3.6.

Tuntureiden kalkki- ja virtavesivaikutteiset sara- ja vihviläkasvustot

Tuntureiden kalkki- ja virtavesivaikutteiset sara- ja vihviläkasvustot (7240) sijaitsevat
usein sisävesissä erotetun luontotyyppin ”tunturialueen norot” varsilla, mutta niillä ei
ole suoraa yhtymäkohtaa luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa erotettuihin
luontotyypeihin. Tätä luontotyyppiä esiintyy rajatulla Käsivarren kalkkialueella,
ja huomattava osa esiintymistä on Mallan luonnonpuistossa. Tiedot luontotyyppin
esiintymisestä ja kehityksestä ovat puutteelliset, todennäköisesti kaikkia esiintymiä
ei vielä tunneta. Ilmastonmuutoksen ei arvioitu olevan niille merkittävä uhka, mutta
se voi tulevaisuudessa vaikuttaa luontotyyppin rakenteeseen ja toimintaan routimi-
seen odotettavissa olevien muutosten kautta. Myös porolaidunnus on uhka, sillä
pienialaisena luontotyyppi on herkkä häiriöille (Pääkkö ym. 2018b).

3.6.4.3.7.

Tuntureiden vyörySORAikot ja lohKAREikot

Luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa vyörySORAikot ja lohKAREikot (8110) luettiin karuihin ja keskiravinteisiin vyörySORAikoihin, jotka arvioitiin säilyviksi (LC) (Pääkkö ym. 2018b). VyörySORat ovat tuntureiden rinteiden luontotyyppettä, joiden syntyyn vaikuttaa kallioseinämien halkeamiin ja rakoihin syntyneen jään sulaminen. Ilmastomuutoksen ei arvioitu vaikuttavan merkittävästi vyörySORAikkojen ja lohKAREikkojen määrään tai laatuun.

3.6.4.4.

Muut ilmastomuutoksen uhkaamat tunturiluontotyypit

Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa tunnistettiin myös muita luontotyyppettä, joita ilmastomuutos uhkaa. Näitä ovat silmälläpidettäväksi (NT) arvioidut tunturien suurruohoniityt sekä tunturien dyyni- ja deflaatioalueet (Pääkkö ym. 2018b). **Tunturien suurruohoniityt** liittyvät luontodirektiivin luontotyyppiin kosteat suurruohoniityt (6430). Ne ovat usein pensaikkoisia, valuvetisten kalliopahtojen alla olevia suurruohostoja, joilla kasvaa korkeita ruohoja ja heiniä. Luontotyyppiä ylläpitävät tulvavedet ja kevättulvat sekä jäätyminen. Tunturien suurruohoniittyjen pinta-alassa ei arvioitu tapahtuneen muutoksia, mutta laadun arvioitiin heikentyneen pajukoitumisen vuoksi. Ilmastomuutos uhkaa lisätä pajukoitumista entisestään.

Tunturien dyyni- ja deflaatioalueista osa sisältyy luontodirektiivin luontotyyppiin kuivat kanerva- ja variksenmarjadyynit (2320). Ne ovat tuulen kuluttamia maapaljastumia (deflaatioalueet) tai kasaamia lehtohiekka-alueita (dyynit). Maaperä on kuivaa ja kasvillisuus on niukkaa tai lähes puuttuu. Valtaosa dyyni- ja deflaatioalueista sijaitsee männyn leviämisen herkillä alueella. Tunturien dyyni- ja deflaatioalueita uhkaa ilmastomuutos yhdessä porolaidunnuksen, maastoliikenteen ja muun kuluksen kanssa (Pääkkö ym. 2018b). Ilmastomuutos voi edistää hiekkapaljastumien kasvittumista ja vähentää tuulen kulutustyötä, jolloin mänty voi levitä dyynialueille herkästi.

3.6.4.5.

Eri tekijöiden yhteisvaikutukset muuttuvassa ilmastossa

Eri maankäyttömuotojen, porolaidunnuksen, tuhohyönteisten, kasvitautien ja vieraslajien yhteisvaikutukset ilmastomuutoksen kanssa voivat voimistaa ja nopeuttaa tunturiluontotyyppien muutoksia. Lisääntynyt rakentaminen, matkailu ja virkistyskäyttö sekä niihin liittyvä toiminta tuovat mukanaan monenlaisia muutoksia tunturiluontoon. Matkailun ja virkistyskäytön kasvu lisää maastoliikennettä, mikä aiheuttaa maaperän kulumista. Eri tekijöiden yhteisvaikutukset ilmastomuutoksen kanssa ovat laajuudeltaan, suunnaltaan ja voimakkuudeltaan ennakoimattomia. Muutosten laajuuteen ja suuntaan vaikuttavat paikalliset luonnon olosuhteet ja ihmisen toiminta, lämmön lisääntymisen ja kosteusolojen muuttuminen sekä suuret sääolojen vaihtelut ja tuntureille leviävien uusien lajien erilainen stressinsietokyky (Gritsch ym. 2016). Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa kuitenkin myös myönteisesti lisäämällä tunturikasvien kasvua (Kullman 2010).

Tunturi- ja hallamittarituhot vaikuttavat tunturikoivikkojen esiintymiseen ja leviämiseen. Tunturikoivikkojen hyönteistuhot lisääntyvät ilmaston muuttuessa, ne ovat tulevaisuudessa entistä laaja-alaisempia ja useammin toistuvia (Virtanen ym. 1998). Lisääntyvän liikenteen ja porojen talviruokinnan mukana leviää vieraslajeja, joiden vaikutuksia tunturiluontoon on vaikea ennustaa. Uusia tuhoja aiheuttavia lajeja voi levittäytyä tunturialueelle myös luontaisesti, kuten koivulla ja muilla lehtipuilla elävä ruskamittari (*Agriopsis aurantiaria*) (Nilssen 2007; Jepsen ym. 2011). Syksyjen lämpeneminen ja kosteus lisäävät home- ja ruostesienten esiintymistä kasvillisuudessa (Kumpula ym. 2000).

Luontodirektiivin luontotyypeillä todetut eri tekijöiden yhteisvaikutukset: Tunturikoivikoissa voimakas porolaidunnus voimistaa ilmastonmuutoksen negatiivisia vaikutuksia, ja tekijöiden yhteisvaikutus on merkittävä. Tunturikoivikon elpyminen mittarituhoista hidastuu erityisesti poron kesälaidunalueilla. Kuivan koivikkotyypin toipuminen mittarituhoista on heikompaa kuin tuoreempien tyyppien. Tuhoutu- neet tunturikoivikot saattavat muuttua ns. sekundaarisiksi tunturipaljakoiksi, mikä pienentää tunturikoivikoiden pinta-alaa. Tunturikankailla ilmastonmuutoksen ja laidunnuksen yhteisvaikutuksen uhka on vähäisempi kuin em. uhkat erikseen. Lai- dunnus estää tunturikankaiden umpeenkasvua ja pensoittumista, mutta ei samalla tavalla estä havupuiden leviämistä. Tunturikangaspajukoissa ilmastonmuutos ja laidunnus tasapainottavat toistensa vaikutuksia. Kesälaidunnus estää pajukoiden laajentumista ja koivun leviämistä. Muilla luontodirektiivin luontotyypeillä ei ole merkittäviä ilmastonmuutoksen ja porolaidunnuksen yhteisvaikutuksia.

3.6.5.

Johtopäätökset ja tutkimustarpeet

Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät tunturiluonnossa nopeimmin palsasoilla, lumenviipymissä ja -pysymissä, tunturikoivikoissa sekä tunturikankailla (Niittynen ym. 2018; Turunen ym. 2018; Markkula ym. 2019). Tunturi- ja hallamittarin toistuvat ja laaja-alaiset massaesiintymät ovat jo aiheuttaneet ajoittain laajoja tunturikoivikoiden tuhoja. Seurauksena on syntynyt sekundaarisia paljakoita, joilla tunturikoivu ei enää pysty uudistumaan voimakkaassa poron aiheuttamassa laidunpaineessa. Ilmaston lämmetessä on uhkana, että mittarituhot yleistyvät ja tunturikoivun uudistuminen vaikeutuu entisestään. Lisäksi havupuut levittäytyvät metsänrajalla pohjoisemmaksi ja ylemmäs tunturinrinteillä.

Tunturikankailla ilmaston lämpeneminen ja sateiden lisääntyminen aiheuttavat rehevöitymistä ja umpeenkasvua. Avoimet tunturikankaat uhkaavat pensoittua. Lumipeitteisen ajan lyhentyessä ja lumilaikkujen pienentyessä lumenviipymät ja -pysymät ja niihin sopeutunut lajisto häviävät vähitellen. Toisaalta äärevät olot, kuten kuivuuskaudet ja myrskytuulet, saattavat lisääntyä, ja aiheuttaa muun muassa maan- pinnan rapautumista ja varvikoitumista. Porolaidunnuksella on sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia tunturiluontoon. Rehevillä kasvupaikoilla kesälaidunnus vähentää pensaikon leviämistä ja auttaa kilpailullisesti heikkojen kasvilajien säi- lymistä kasvupaikoillaan. Sen sijaan kuivilla luontotyypeillä laidunnus aiheuttaa kulumista ja vahvistaa kesän kuivuuskausien ja tuulen haitallisia vaikutuksia.

Kasviyhteisöt tulevat muuttumaan kilpailusuhteiden muuttuessa. Myös luonto- tyyppit muuttuvat toisiksi, todennäköisesti uudenaikaisiksi yhdistelmiksi, koska eri lajit reagoivat eri tavoin ilmastonmuutoksen vaikutuksiin (mm. Garamvölgyi & Hufna- gel 2013). Muutosten laajuuteen ja suuntaan vaikuttavat lämmön lisääntymisen ja kosteusolojen muuttumisen lisäksi suuret sääolojen vaihtelut, tuntuureille leviävien uusien lajien erilainen stressinsietokyky sekä heterogeenisia elinympäristöjä luovat paikalliset olosuhteet (Gritsch ym. 2016). Ilmastonmuutos voi voimistaa jo meneillään olevia muutoksia tunturien luontotyypeissä. Näistä tärkeimpiä ovat metsänrajan siirtyminen pohjoisemmaksi ja tuntuureilla ylemmäs, lumilaikkujen katoaminen sekä avointen tunturiluontotyyppien umpeenkasvu.

Tutkimusta tarvitaan ilmastonmuutokselle herkimpien luontotyyppien ja lajien sopeutumisesta muuttuviin olosuhteisiin ja monimuotoisuuden säilymisen turvaa- miseksi tarvittavista toimista. Ilmastonmuutoksen vaikutusten seurantaan tarvitaan sekä alueellisella että paikallisella tasolla bioottisten ja abioottisten vuorovaikutus- ten selvittämiseksi (Klanderud ym. 2015). Lisäksi tarvitaan tutkimusta porolaidun- nuksen, mittarituhojen ja ilmaston lämpenemisen yhteisvaikutuksista maanpinnan heijastuskykyyn ja ilmastonmuutoksen etenemiseen erilaisilla luontotyypeillä.

Suot

Kaisu Aapala

Luontodirektiivin liitteessä I on 12 suoluontotyyppiä (Liite 3). Kirjallisuushaku ilmastonmuutoksen vaikutuksista suoluontotyyppisiin kohdennettiin erityisesti boreaaliseen vyöhykkeelle, mutta jossain määrin käytiin läpi muutakin eurooppalaista tutkimusta. Hakusanoina käytettiin kunkin luontotyyppin luontodirektiivin mukaista englanninkielistä nimeä tai osaa siitä yhdistettynä 'climat* change' hakutermiin. Hakuja tehtiin sekä Web of Science- julkaisutietokannasta että Google Scholar -tietokannasta.

Pohjoisilla soilla on tärkeä rooli globaalina hiilivarastona, sillä niihin on varastoitunut noin kolmasosa maapallon maaperän hiilestä (Yu 2012). Suomessa yli kaksi kolmasosaa maaperän hiilivarastoista on turpeessa (Turunen ym. 2019). Suot ovat myös merkittävä luontainen metaanin lähde ilmakehään. Soiden keskeisen ilmasto-vaikutuksen vuoksi tutkimusmielenkiinto on kohdistunut erityisesti soiden hiilidynamiikkaan. Muuttuvan ilmaston vaikutusta soiden luontotyyppisiin on tutkittu selvästi vähemmän.

3.7.1.

Lämpötilan ja sateisuuden muutokset keskeisiä suoluontotyypeille

Soita ekosysteeminä luonnehtii korkealla oleva vedenpinnan taso. Muutokset vedenpinnan tasossa vaikuttavat suoraan soiden toimintaan ja kasviyhteisöihin. Lämpötilan nousu ja muutokset sademäärissä ja sateiden ajoittumisessa tulevat hyvin todennäköisesti vaikuttamaan soihin, erityisesti suovedenpinnan tason muutosten kautta, mutta eri muuttujien väliset vuorovaikutussuhteet ja takaisinkytkennät tunnetaan vielä huonosti.

Ilmastonmuutoksen oletetaan laskevan pohjoisten soiden vedenpinnan tasoa, mutta ei välttämättä niin paljon kuin aikaisemmin on ennustettu (Laine ym. 2019 ja viitteet siinä). Gong ym. (2012) mallinsivat Suomen soiden vedenpinnan tason muutoksia ajanjaksolle 2000–2099 käyttäen ACCLIM-skenaarioita. Ennusteiden mukaan luonnontilaisten soiden vedenpinnan tasossa tapahtuisi jonkin verran muutoksia (vaihteluväli $+0,2 \pm 1,5$ – $-4,3 \pm 0,93$ cm), jotka vahvistuisivat vuosisadan loppua kohti. Vedenpinnan laskun ennustettiin olevan voimakkaampaa myöhään keväällä kuin kesällä tai syksyllä. Eniten suovedenpinta laskisi Länsi-Suomessa, Pohjanmaan aapasuovyöhykkeen eteläosissa Oulun korkeudelle saakka. (Gong ym. 2012.)

Pitkän aikavälin muutoksia suoveden pinnan tasossa on tarkasteltu Euroopan laajuisessa tutkimuksessa (Swindles ym. 2019). Tulosten perusteella Euroopan suot ovat kuivuneet laajalti viimeisen noin 300 vuoden aikana. Tutkimuksen mukaan niillä soilla Pohjois-Euroopassa, joilla vedenpinta oli laskenut, vuoden keskilämpötila oli samanaikaisesti noussut $2,5$ °C. Maankäytön arvioitiin todennäköisesti voimistaneen ilmastonmuutoksen aiheuttamaa kuivumista valtaosassa Eurooppaa. (Swindles ym. 2019.)

Sekä maastossa että laboratoriossa (mesokosmos-mittakaava) tehdyissä kokeellisissa tutkimuksissa, joissa on simuloitu ilmastonmuutoksen vaikutuksia, jo vähäinen (muutaman senttimetrin) vedenpinnan lasku on aiheuttanut selviä muutoksia kasvillisuudessa (Mäkiranta ym. 2018 ja viitteet siinä). Seurantatutkimuksessa, jossa simuloitiin sekä lämpötilan nousua että vedenpinnan laskua saranevalla, vedenpinnan tason muutos oli voimakkaampi kasviyhteisöjä muuttava tekijä kuin lämpötilan nousu yksinään (Mäkiranta ym. 2018).

Suurilmasto säätelee keidas- ja aapasoiden esiintymisvyöhykkeitä. Nykyilmastossa (ajanjakso 1971–2000) keidas- ja aapasuovyöhykkeiden raja mukailee lämpösummaa 1000 astepäivää (°C vrk), ollen jonkin verran tämän rajan eteläpuolella (Ilmasto-opas 2019d; Ruosteenoja ym. 2016b). Aapasoita ei esiinny nykyilmaston lämpösumman 1200 °C eteläpuolella (Ilmasto-opas 2019d; Parviainen & Luoto 2007). Tulevaisuuden ilmastoennusteissa lämpösummien 1200 °C – 1000 °C välinen alue siirtyisi vuosisadan puoliväliin mennessä Kainuun - Etelä-Lapin alueelle. Vuosisadan loppuun mennessä aapasoiden esiintymiselle suotuisan lämpösumman (1200 °C) yläraja siirtyisi RCP4.5-skenaarion mukaisissa ennusteissa Kuusamo-Kolari linjan korkeudelle ja RCP8.5-skenaariossa Käsivarren Lappiin (Ilmasto-opas 2019d; Ruosteenoja ym. 2016b).

Ennustettu muutos lämpösummassa tulee todennäköisesti vaikuttamaan keidas- ja aapasoiden levinneisyyteen, vaikka ei olekaan oletettavaa, että keidassuot pystyisivät ”seuraamaan” lämpösummakäyrää sillä nopeudella kuin muutoksen ennustetaan tapahtuvan. Aapasoille suotuisan lämpösumman ylärajan 1200 °C siirtyminen selvästi pohjoisemmaksi, merkitsee kuitenkin olosuhteiden muuttumista nykyisen aapasuovyöhykkeen eteläosissa suotuisemmiksi keidassoille ja epäsuotuisemmiksi aapasoille.

Lämpötilan nousu vaikuttaa myös lajien levinneisyysalueisiin ja uusia lajeja voi levitä meille etelästä. Suolajeissa on paljon pohjoispainotteisen levinneisyyden omaavia lajeja, joiden eteläiset esiintymispaikat voivat olla uhattuina lämpenevässä ilmastossa. Toisaalta meillä levinneisyytensä pohjoisrajoilla olevat suolajit voivat runsastua ja levitä pohjoiseen.

3.7.2.

Luontotyyppiryhmittäiset muutokset

Tässä katsauksessa ei seurata täsmälleen luontodirektiivin mukaista soiden luokitte-
lua, koska julkaisuissa on yleensä kuvattu tutkittuja soita paljon yleisluonteisemmin. Soiden luontotyytit ryhmitellään viiteen ryhmään: karut rahkaiset suot (voi sisältää luontodirektiivin liitteen I luontotyypeistä keidassoita 7110* ja vaihettumis- ja rantasoita 7140), minerotrofiset avosuot (aapasoita 7310*, lettoja 7230, vaihettumis- ja rantasoita 7140), lähteet ja lähdevaikutteiset suot (lähteitä ja lähdesoita 7160, huurresammallähteitä 7220*), palsasuot (7320*), puustoiset suot 91D0* ja metsäluhdet 9080*. Taarnaluhtaletot (7210*) ja tuntureiden rehevät puronvarsisuot (7240*) jätettiin katsauksen ulkopuolelle.

3.7.2.1.

Karut, rahkaiset suot

Keidassuot ovat laiteita lukuun ottamatta sadeveden varaisia ekosysteemejä, jolloin oletusarvoisesti ilmastonmuutoksen aiheuttamat mahdolliset muutokset sademäärissä ja sateiden jaksottumisessa voivat vaikuttaa niihin suoraan. Kohoava lämpötila voi lisätä haihtumista ja laskea suovedenpinnan tasoa. Tutkimuksia tai mallinnuksia keidassoiden mahdollisista muutoksista muuttuvassa ilmastossa on vasta muutamia.

Ombrotrofisten peittosoiden levinneisyysalueen muutoksia on ennustettu biokli-
maattisella mallilla, joka huomioi muutokset sekä lämpötilassa että sademäärissä (Callego-Sala ym. 2010; Callego-Sala & Prentice 2013). Ennusteen mukaan peittosoiden levinneisyysalue vetäytyy Britanniassa kohti luodetta (Callego-Sala ym. 2010). Voimakkaimman skenaarion (UKCIP02) mukaisessa ennusteessa peittosoille sopiva ilmastoikkuna oli vuosisadan lopussa 84 % pienempi kuin nykyinen. Pääasiallinen muutostekijä oli kesälämpötilan nousu. Myös globaalin ennusteen mukaan peittosoiden levinneisyysalue supistuu (Callego-Sala & Prentice 2013).

Itävallan soiden haavoittuvuusanalyysissä keidassuot osoittautuivat kaikkein herkeimmiksi suoluontotyypeiksi (Essl ym. 2012). Vuosisadan loppuun mennessä mallinnukset ennustivat voimakasta vähennystä keidassoille ilmastollisesti suotuisan alueen määrässä. Tärkeimpänä muutostekijänä oli lämpötilan nousu, erityisesti kesällä (Essl ym. 2012).

Suomessa keidassuot säilynevät Etelä-Suomessa tulevaisuudessakin, sillä keidassoita esiintyy myös Keski-Euroopan nykyisissä ilmasto-oloissa. Kasviyhteisöissä ja rakennepiirteissä voi kuitenkin tapahtua muutoksia (Ruuhijärvi 2018). Ilmaston lämmetessä keidassuot voivat laajentaa esiintymisalueitaan pohjoiseen.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia karujen soiden kasvillisuuteen on tarkasteltu muutamissa simulaatiokokeissa. Pohjois-Ruotsissa manipuloitiin lämpötilaa ja lumipeitteen paksuutta avokammiokeissa (*open top chamber*) ruskorahkasammal valtaisella suolla (Dorrepaal ym. 2004). Kesälämpötilan nousu lisäsi ruskorahkasammalen (*Sphagnum fuscum*) kasvua merkitsevästi. Sen sijaan lumipeitteen paksuuntuminen talvella tai lämpötilan nousu keväällä ei lisännyt kasvua. Ranskassa ombrotrofisella suolla toteutetussa kokeessa simuloitiin lämpötilan nousua avokammioiden avulla, erikseen kuivissa ja kosteissa mikrohabitaateissa (Buttler ym. 2015). Kokeessa putkilokasvilajien peittävyys kasvoi merkitsevästi. Lajien väliset reaktiot kuitenkin vaihtelivat: suokukan (*Andromeda polifolia*) runsaus kasvoi sekä kuivissa että kosteissa habitaateissa, kun taas isokarpalon (*Vaccinium oxycoccus*) runsaus laski. Tupasvillan (*Eriophorum vaginatum*) simuloidulla lämpötilan nousulla ei ollut vaikutusta. (Buttler ym. 2015.)

3.7.2.2.

Minerotrofiset avosuot

Minerotrofisilla soilla, erityisesti aapasoilla, valuma-alueelta tulevilla vesillä on keskeinen merkitys niiden säilymiselle. Etenkin keväisiä tulvavesiä pidetään tärkeinä aapasoita ylläpitävänä tekijänä. Etelä- ja Keski-Suomeen ennustettu kevättulvien aikaistuminen ja pieneneminen talven lumikertymien pienentyessä (Suomalainen ym. 2006) voi lisätä aapasoiden levinneisyysalueen eteläosien soiden kuivumisriskiä. Pohjois-Suomessa kevättulvien odotetaan kuitenkin vielä kasvavan muutaman vuosikymmenen ajan lisääntyvän sadannan takia, mutta pienenevän myöhemmin lämpenemisen edetessä (Suomalainen ym. 2006). Näin ollen Pohjois-Suomen aapasoilla ei ainakaan lähivuosikymmeninä olisi odotettavissa kevättulvavesien vähenemisestä aiheutuvaa kuivumisriskiä.

Soiden luontaisen, yleensä hitaan sukkession aiheuttamaa minerotrofisten soiden (aapasuot, minerotrofiset nevat) muuttumista vähitellen ombrotrofiksi (keidassuot) voidaan pitää ekosysteemitason siirtymänä ('ecosystem shift') (Välranta ym. 2017). Aapa- ja keidassoiden vaihtumisvyöhykkeellä on paljon soita, jotka ovat luonteeltaan yhdistymätyyppien välimuotoja, muutosvaiheessa kohti keidassoita. Mikäli ilmastonmuutoksen myötä vedenpinnan taso soilla laskee tai suolle tulevien kevättulvavesien määrä vähenee, voi kehitys kohti keidassoita näillä vaihtumisvyöhykkeen välimuotoisilla soilla nopeutua. Myös lämpösummaan ennustetut muutokset ovat tällä alueella suotuisampia keidassoille kuin aapasoille. Jos minerotrofisten vesien pääsy valuma-alueelta aapasuolle katkaistaan esimerkiksi suon osittaisella ojituksella, voi suon keskiosien karuuntumiskehitys tapahtua hyvinkin nopeasti (Tahvanainen 2011). Osittain ojitettuja aapasoita on vaihtumisvyöhykkeellä paljon (Sallinen ym. 2019) ja ilmastonmuutos voi kiihdyttää näiden osittain ojitettujen aapasoiden karuuntumiskehitystä. Alueella on siis aktiivisena kaksi tekijää, jotka edistävät aapasoiden muutosta keidassoiksi – soiden luontainen sukkessio ja ojitusten aiheuttama karuuntumiskehitys – joita ilmastonmuutos mahdollisesti voimistaa (Välranta ym. 2017).

Ilmastomuutoksen vaikutuksia minerotrofisten avosoiden kasvillisuuteen on tarkasteltu joidenkin kokeellisten tutkimusten yhteydessä, joissa on simuloitu ilmastomuutoksen vaikutuksia soiden hiilidynamiikkaan (Mäkiranta ym. 2018 ja viitteet siinä; Laine ym. 2019 ja viitteet siinä). Kokeellinen lämpötilan nosto (1.5 °C) ei aiheuttanut saranevalla muutoksia kasviyhteisön koostumukseen (Mäkiranta ym. 2018). Sen sijaan kuivempia olosuhteita simuloivat vedenpinnan tason lasku (keskimäärin 3–7 cm) aiheutti selviä muutoksia lämpötilasta riippumatta: varvut hyötyivät, mutta ruohot ja sammalet kärsivät. Varpujen alhainen fotosynteesin optimilämpötila verrattuna saroihin voi heikentää niiden kilpailukykyä lämpötilan noustessa (Mäkiranta ym. 2018). Kohtuullinen lämpötilan nousu nykyisen kaltaisissa kosteusoloissa ei välttämättä aiheuta saranevalla kovin suuria kasvilajistollisia muutoksia (Mäkiranta ym. 2018). Sademäärän lisäksi sateiden jaksottumisella voi olla vaikutusta kasvillisuuden muutoksiin (Radu & Duval 2018). Kokeellisessa tutkimuksessa harvemmin toistuvat, mutta voimakkaammat sateet lisäsivät putkilokasvien peittävyttä karun nevan kasvillisuudessa (Radu & Duval 2018).

3.7.2.3.

Palsasuot

Palsasoiden määrittely vaihtelee eri yhteyksissä, esimerkiksi luontodirektiivissä palsasuot on määritetty hiukan eri tavoin kuin luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa (Airaksinen & Karttunen 2001; Kaakinen ym. 2018). Tässä katsauksessa keskitytään ensisijaisesti palsoihin, sekä niiden sulamisen seurauksena syntyneisiin termokarstiallikoihin, jotka yleensä ovat olleet kiinnostuksen kohteina myös ilmastomuutokseen liittyvissä tutkimuksissa.

Ilmasto säätelee palsojen esiintymistä. Niiden esiintymisen ilmastollinen optimi on alueella, jossa vuoden keskilämpötila on -3 – -5° C ja vuoden sademäärä alle 450 mm (Luoto ym. 2004a, b). Kohoavan keskilämpötilan ja lyhenevän termisen talven lisäksi palsat kärsivät paksummasta lumipeitteestä ja kesäsateista (Seppälä 1988 julkaisussa Luoto ym. 2004b).

Palsojen viimeaikainen sulaminen ja pinta-alan väheneminen eri puolilla Fennoskandian on osoitettu useissa tutkimuksissa (Sollid & Sørbel 1998; Zuidhoff & Kolstrup 2000; Borge ym. 2017; Backe 2019). Finnmarkissa, Pohjois-Norjassa, palsasoiden esiintymisen ydinalueilla, kumpu- ja laakiopalsojen pinta-ala supistui 33–71 % vuosien 1950–2010 välisenä aikana (Borge ym. 2017). Suurimmat muutosnopeudet havaittiin viimeisen vuosikymmenen aikana. Termokarstimuodostumia oli jo 1950-luvulla, ja niiden perusteella oletetaan, että palsojen eroosio ja sulaminen oli jo tuolloin käynnissä oleva prosessi. Eroosion nopeuteen vaikuttavia ympäristötekijöitä ei vielä täysin tunneta, mutta tutkimusalueella on havaittu vähäistä nousua ilman lämpötilassa, sateessa ja lumipeitteen syvyydessä muutaman viimeisen vuosikymmenen aikana (Borge ym. 2017). Ruotsin eteläisimmällä esiintymisalueella (Laivadalén) palsojen määrän havaittiin vähentyneen 50 % vuosien 1960–1997 aikana (Zuidhoff & Kolstrup 2000) ja Norjassa eteläisimmän esiintymän (Dovre fjell) alueella osalla soista palsat ovat sulaneet kokonaan (Sollid ja Sørbel 1998). Luoto ja Seppälä (2003) arvioivat termokarstiallikoiden esiintymisen perusteella, että palsojen aiempi levinneisyysalue Suomessa on todennäköisesti ollut noin kolme kertaa laajempi kuin nykyinen. Korkeammalla ja vesistöjen varsilla sijaitsevat laakiopalsat näyttävät säilyneen meillä toistaiseksi paremmin kuin kumpupalsat (Salminen 2018). Euroopan luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa palsojen määrän arvioitiin vähentyneen EU:n alueella noin 40 % ja Norja ja Islanti mukaan lukien 44 % viimeisen 50 vuoden aikana (European Environment Agency 2018).

Palsojen muutoksia seurataan Norjassa ja Ruotsissa. Norjassa on kuusi seuranta-alueita, jotka kattavat palsasoiden levinneisyysalueen etelästä Dovren alueelta Finnmarkiin Pohjois-Norjassa. Dovren alueella havaittiin ensimmäisen viisivuotis-



Kuva: Juha Pöyry

Luonnontilainen aapasuo Kuhmossa.

seurantajakson aikana (2007–2012) palsojen lukumäärän ja koon pienenemisen lisäksi myös toisen suuntaista kehitystä, kun alueelle muodostui uusi palsa, ikeiroudan esiintymisalue laajeni ja palsan sulavan pintakerroksen paksuus pieneni (Hofgaard & Myklebost 2012). Ruotsissa kaikki palsasoiden palsat on kartoitettu ilmakuvatulokinnalla 100 m x 100 m ruudukoista luontodirektiivin raportointia ja seuranta varten (Backe 2014; Backe 2019). Otantaan perustuvan tarkastelun perusteella arvioitiin vuonna 2019, että palsoista 35 % oli säilynyt muuttumattomina ja 65 %:lla palsan pinta-ala oli pienentynyt 1–21 % (keskiarvo 2,4%) (Backe 2019).

Mallinnustutkimusten perusteella palsojen tulevaisuus näyttää heikolta. Jo vuosisadan puoliväliin mennessä palsojen määrän ennustetaan vähenevän voimakkaasti ja niille suotuisien ilmasto-olojen kaventuvan selvästi (Fronzek ym. 2010; 2011; Bosio ym. 2012; Fronzek 2013; Aalto ym. 2017). Vuosisadan loppuun mennessä palsoille suotuisat olosuhteet käytännössä lähes häviävät kaikkien ennusteiden mukaan (Fronzek ym. 2006; 2011), tai niitä on jäljellä enää korkeimmilla alueilla (Aalto ym. 2017).

3.7.2.4.

Lähteet ja lähdesuot sekä huurresammallähteet

Ilmastomuutoksen vaikutuksista pohjavesivaikutteisiin ekosysteemeihin tiedetään vasta vähän (Kløve ym. 2014). Vaikutuksia on kuitenkin odotettavissa, sillä muutokset sademäärissä, haihdunnassa, lumipeitteen paksuudessa ja lumen sulamisessa tulevat vaikuttamaan pohjavesien muodostumiseen sekä niiden määrään ja laatuun. Vaikutukset riippuvat muun muassa siitä, kuinka paljon pohjavesiä tulee ja kuinka suuria muutoksia purkautumiseen on odotettavissa sekä ekosysteemityypistä. Laajat, runsastuottoiset pohjavesimuodostumat ja niihin liittyvät luontotyypit ovat todennäköisesti vastustuskykyisempiä ilmastomuutokselle kuin pienet. (Kløve ym. 2014.)

Pitkän aikavälin (1968–2012) trendit Pohjois-Euroopassa osoittavat lähdevesien lämmenneen selvästi. Malliennusteiden mukaan lähdeveden lämpötilan nousu vaih-

telisi 0,67 °C (skenaario RCP2.6) – ja 5,94 °C (skenaario RCP8.5) välillä vuoteen 2086 mennessä. Kylmää vettä vaativille lähdelajeille pohjaveden lämpeneminen merkitsee epäsuotuisia olosuhteita. (Jyväsjärvi ym. 2015.)

3.7.2.5.

Puustoiset suot ja metsäluhdet

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista puustoiisiin soihin tai metsäluhtiin löytyi vain muutamia tutkimuksia. Etelä-Saksassa tehdyssä mallinnustutkimuksessa puustoitesten soiden (91D0*) ennustettiin menettävän yli kaksi kolmasosaa levinneisyysalueestaan vuoteen 2070 mennessä (Steinacker ym. 2019). Potentiaalisia ilmastollisia refugioita esiintyisi ennusteen mukaan Alpeilla. Metsäluhtien (91E0*) levinneisyysalue säilyi ennusteiden mukaan lähes ennallaan (Steinacker ym. 2019).

Ruotsissa tutkittiin kahdentoista laajalle levinneen boreaalisen metsäkasvilajin esiintymistä metsämaisemassa lajien levinneisyysalueen eteläreunalla (Greiser ym. 2019). Lajeille soveliaat pienilmastolliset refugiot erosivat ympäröivästä metsämaisemasta muun muassa alhaisempien kesän ja syksyn maksimilämpötilojen, myöhäisen lumensulamisen ja tasaisen pienilmaston perusteella. Yksi tärkeimmiksi tunnistetuista boreaalisen metsän pienilmastollisista refugioista olivat kosteat metsät (Greiser ym. 2019), jotka tutkittujen lajien (hentosara *Carex disperma*, korpisara *C. loliacea*, herttakaksikko *Neottia cordata*, pallopäärahkasammal *Sphagnum wulfianum*) perusteella olivat korpia. Refugiot tarjoavat lajeille mahdollisuuden säilyä muuttuvassa ilmastossa. Vastaavasti ne voivat toimia myös luontotyyppien turvapaikkoina, säilyttäessään niiden nykyisiä ominaispiirteitä ja lajistoa. Borealisessa metsämaisemassa luonnontilaisten korprien merkitys refugioina kasvanee tulevaisuudessa esimerkiksi kuivuusstressistä kärsivälle kuuselle (ks. luku 3.9.4.3.) ja kuusen lajistolle.

Ilmastonmuutoksen ennustetaan lisäävän erilaisia puuston kuolleisuutta lisääviä häiriöitä, ja vaikutukset suometsien puuston rakenteeseen ja dynamiikkaan lienevät samankaltaisia kuin kivennäismaiden metsissä (ks. luku 3.9.4.), mutta häiriöitä ja niiden vaikutuksia suometsiin ei ole tutkittu. Metsäluhdet puolestaan ovat alttiita tulvadynamiikassa ennustetuille muutoksille, kuten aikaistuneille ja pienentyneille kevättulvahuipuille (ks. luku 3.4.1.1.).

3.7.3.

Yhteenveto

Soita ekosysteeminä luonnehtii korkealla oleva vedenpinnan taso ja muutokset vedenpinnan tasossa vaikuttavat suoraan soiden toimintaan ja kasviyhteisöihin. Lämpötilan nousu ja muutokset sademäärissä ja sateiden ajoittumisessa tulevat hyvin todennäköisesti vaikuttamaan soihin, erityisesti suovedenpinnan tason muutosten kautta, mutta eri muuttujien väliset vuorovaikutussuhteet ja takaisinkytkennät tunnetaan vielä huonosti.

Palsasoita lukuun ottamatta tutkimustietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta suoluontotyyppeihin on vain vähän, eikä tulosten perusteella voi tehdä yleistäviä johtopäätöksiä. Ilmastonmuutoksen on jo havaittu vaikuttaneen palsojen sulamiseen sekä niiden esiintymisen äärialueilla että ydinalueilla. Ennusteiden mukaan valtaosa Suomen palsoista voi sulaa vuosisadan loppuun mennessä.

Koska suurilmasto, erityisesti lämpötila ja sademäärä, selittävät keidas- ja aapasoiden nykylevinneisyyttä, voi ilmastonmuutos vaikuttaa niiden levinneisyysalueisiin. Ensimmäisenä muutoksia on ehkä odotettavissa keidas- ja aapasoiden vaihtumisvyöhykkeellä, jossa sekä soiden luontainen sukkessiokehitys, maankäyttö että ilmastonmuutos ovat vaikuttamassa samaan suuntaan, kiihdyttäen aapasoiden karuuntumista keidassoiksi.

Pohjavesien on jo havaittu lämmenneen Pohjois-Euroopassa, ja lämpenemisen ennustetaan jatkuvan kohti vuosisadan loppua. Pohjavesien lämpeneminen muuttaa lähteiden ja lähdevaikutteisten soiden lajikoostumusta. Ilmastomuutoksen ennustetaan lisäävän laaja-alaisia, puustoa tappavia abioottisia ja bioottisia häiriöitä. Näiden häiriöiden voi olettaa vaikuttavan puustoisten soiden puuston rakenteeseen samaan tapaan kuin kivennäismaiden metsissäkin.

Vedenpinnan tason mahdollinen lasku luonnontilaisilla soilla on yksi kriittisimmistä ilmastomuutoksen ennustetuista vaikutuksista soilla, ja olisikin tarpeen saada tarkemmin kohdennettuja ennusteita herkimmistä alueista. Lämpötilan nousun mahdollisista vaikutuksista kasvilajien levinneisyysalueiden muutoksiin, erityisesti levinneisyysalueiden reunaosissa, tarvittaisiin lisää tietoa.

Huomattava osa Suomen soista, Pohjois-Lappia lukuun ottamatta, on jonkinlaisen kuivattavan maankäytön vaikutuspiirissä. Ilmastomuutos todennäköisesti vaikuttaa samansuuntaisesti eli vahvistaa kuivumisvaikutusta. Myös osittain ojittamattomilla soilla kuivumiskehitys voi kiihtyä ilmastomuutoksen vaikutuksesta. Ennallistamis- ja hoitotoimet edistävät sopeutumista ilmastomuutokseen, sillä suot, joilla vedenpinnan taso on korkealla, ovat paremmin puskuroituneita ilmastomuutosta vastaan.

3.8.

Kalliot

Juha Pykälä

Tässä työssä selvitettiin kirjallisuuskatsauksen avulla ilmastomuutoksen mahdollisia vaikutuksia kallioluontotyyppeihin. Tälle tarkastelulle on selvä ekologinen ja luonnonsuojelubiologinen tarve, sillä kalliot ovat useiden taantuneiden ja uhanalaisten lajien elinympäristöjä, ja kallioluontotyyppien esiintymien säilymiseen ja niiden lajiyhteisöjen koostumukseen vaikuttavat sekä suurilmastoon (kuten sateisuus ja kasvukauden pituus) että pienilmastoon (muun muassa kalliorinteiden ja -seinämi- en ekspositio eli ilmansuunta, ja siitä johtuvat erot kosteusoloissa) liittyvät tekijät. Ilmastomuutos saattaa aiheuttaa kriittisiä muutoksia näihin tekijöihin, mutta on huomattava, että kallioluontotyyppien paikallisten olosuhteiden muutokset riippuvat olennaisesti myös lähiympäristön maankäytöstä, kuten viereisten metsien käsittelyn intensiteetistä.

3.8.1.

Aineisto ja menetelmät

Ilmastomuutoksen vaikutuksia kallioluontotyyppeihin selvittävä kirjallisuushaku tehtiin (Web of Science - julkaisutietokanta) seuraavilla hakusanoilla (haun ajankoh- ta oli elokuu 2018): rock vegetation and climate change*, rock outcrop and climate change*, rock* and flora* and climate change*, rock* and plant* and climate change*, rock* and plant response* and climate change*, rock* and vegetation and climate change*, rock* and microclimate*, rock outcrop* and vegetation and climat*, climat* and change* and lichen*.

Kallioluontotyyppien kirjallisuushaut tuottivat vaihtelevan määrän osumia, 86–842 osuaa. Löydetyistä artikkeleista luettiin otsikot, ja jos otsikoiden perusteella oli mahdollista, että artikkelissa käsiteltiin ilmastomuutoksen vaikutusta kallioluontotyyppeihin, luettiin abstrakti. Edelleen, jos abstraktin perusteella oli mahdollista, että artikkelissa käsiteltiin ilmastomuutoksen vaikutusta kallioluontotyyppeihin, luettiin koko julkaisu. Lopuksi selvitettiin kokonaan läpikäydyistä artikkeleista löy-

tyneet viittaukset muihin potentiaalisesti aihepiiriä käsitteleviin julkaisuihin, jotka tarkistettiin tarvittaessa samalla tavalla kuin haussa löydetty julkaisut.

3.8.2.

Tulokset

Hauilla löytyneet tutkimukset koskivat joko tuntureita tai vuoria eivätkä ne useimmiten käsitelleet ilmastomuutoksen vaikutusta luontotyyppeihin. Kallioita koskevaa tutkimusta aiheesta ei löydetty juuri lainkaan. Vain harvoissa julkaisuissa käsiteltiin edes jollain tavoin ilmastomuutoksen vaikutusta kallioluontotyyppeihin.

Useiden aiempien tutkimusten perusteella tiedetään kuitenkin useita kallioiden luontoon vaikuttavia tekijöitä. Yksi keskeinen seikka on, että kalliot ovat pienilmastoltaan ympäröiviä alueita vaihtelevampia (Anderson ym. 2010). Pohjoisrinteillä maksimilämpötilat ovat usein selvästi matalampia kuin etelärinteillä ja kallioita ympäröivillä alueilla. Minimilämpötilat kallioilla ovat sen sijaan ympäröiviä tasaisempia maita korkeampia. Lisäksi varjorinteet ovat pienilmastoltaan ympäristöä kosteampia. Siten kalliot kokonaisuudessaan voivat olla pienilmastoltaan sekä ympäröiviä alueita kuivempia että kosteampia paikallisista olosuhteista ja alueen pinnanmuotojen vaihtelun voimakkuudesta riippuen (Larson ym. 2005).

Kallioiden on esitetty voivan toimia mikroilmastollisina refugioina viileitä oloja vaativille lajeille (Speziale & Ezcurra 2015). On kuitenkin huomattava, että kallioluonnon suojeleaste vaikuttaa keskeisesti kallioiden ilmastorefugioiden tehokkuuteen (Speziale & Ezcurra 2015) – suojelemattomat kohteet voivat nopeasti menettää refugiomerkityksensä. Viileä, kostea pienilmasto löytyy paitsi pohjoiseen ja itään aukeavilta kallioseinämilta myös seinämien varjostamista metsistä (Locosselli ym. 2016). Varjorinteiden jyrkenteet ja niiden tyviosat ovat siten kaikkein potentiaalisimpia ilmastorefugioita (Gavin ym. 2014; Aapala ym. 2017).

Samoin rotkojen on arvioitu olevan ilmastollisia refugioita (Hannah ym. 2014), jotka jo ison kokonsa takia voivat olla tavallisia kallioita merkittävämpiä. Tämä liittyy edellä mainittuun seikkaan, eli siihen, että topografian vaihtelun äärevyys vaikuttaa keskeisesti siihen, voiko kallioluontoa sisältävä alue toimia ilmastorefugioina vai ei (Randin ym. 2009; Daly ym. 2010; Hampe & Jump 2011; Suggitt ym. 2018).

Historialliset tekijät ovat käyttökelpoisia refugioiden määrittelyssä. Ympäristöt, jotka ovat aiemmissa ilmaston lämpenemisissä toimineet refugioina, ovat todennäköisesti sellaisia myös tulevaisuudessa (Gavin ym. 2014). Suomessa rotkot ja kurut kuten Oulangan alue ovat alueita, jotka ovat tunnettuja ilmastorelikteistään (Söyrinki & Saari 1980; Aapala ym. 2017). Myös hydrologisten refugioiden tärkeyttä on painotettu (McLaughlin ym. 2017). Kallioiden osalta niitä ei ole selvitetty, mutta rantakalliot voisivat olla tällaisia alueita. Tätä ajatusta tukee se, että rantakallioilta tunnetaan useita ilmastorelikteinä pidettyjen lajien esiintymiä.

Lämpötilan nousun ja sademäärän kasvun arvioidaan vähentävän kalliokasvillisuuden määrää. Nämä haittavaikutukset saattavat kohdistua etenkin kallioiden habitaattispecialisteihin ja niiden populaatioihin (Harrison ym. 2009). Ilmastomuutoksen haitalliset vaikutukset kohdistuvat suurella todennäköisyydellä nimenomaan kallioiden habitaattispecialisteihin kuten serpentiinikallioiden osalta on arvioitu (Damschen ym. 2010).

Massien ym. (2016) tekemässä mallinnustyössä arvioitiin, että Oregonin ja Washingtonin arvokkaiksi luokitelluissa luontokohteissa ilmastomuutos voi pienentää kallioluontotyyppien esiintymiä 0,34 % vuoteen 2080 mennessä (keskiarvo ennustemalleista, joissa ilmasto lämpenisi 0,9, 2,3 tai 3,3 °C). Washingtonin osavaltiossa ilmastomuutoksen arvioidaan vaikuttavan kallioluontotyyppien laatuun siten, että lajikoostumus muuttuu ja putkilokasvien lajimäärä lisääntyy (Washington Department of Fish and Wildlife 2015). Collin ym. (2012) mallinnustulosten perusteella

ilmastonmuutos (päästöskenaario A1B) voi pienentää Irlannin kalkkikalliorinteiden esiintymisaluetta tulevaisuudessa jopa 26 %. Silikaattikallioilla vastaava vähentyminen olisi alle puolet tästä.

Wignall ym. (2018) arvioivat ilmastonmuutoksen aiheuttamaa uhkaa Skotlannin geomorfologisesti arvokkaille kallioille. Heidän mukaansa ilmastonmuutos on uhka pääosalle Skotlannin geomorfologialtaan arvokkaista kallioista. Näiden uhkien syinä ovat muutokset sademäärissä, muutokset merenrannoilla sekä muutokset jokien tulvimisessa ja eroosiossa.

3.8.3.

Tulosten tarkastelu

Kirjallisuuskatsauksen perusteella ilmastonmuutoksen vaikutusta kallioluontotyypeihin ei ole tutkittu juuri lainkaan. Siten arviota vaikutuksista ei voi tehdä kirjallisuuskatsauksen perusteella. Vaikutuksia on kuitenkin mahdollista suuntaa-antavasti ja epäsuorasti arvioida muita kuin kalliodien luontotyyppejä koskevien tutkimusten sekä kallioluonnon ekofysiologisten tutkimusten perusteella.

Kalliodien laajan pienilmastollisen vaihtelun katsotaan merkitsevän sitä, että kalliot voivat olla merkittäviä ilmastorefugioita viileitä oloja vaativille lajeille (Speziale & Ezcurra 2015). Nimenomaan suojaisat kalliodien varjorinteet ovatkin ilmastoltaan stabiileja paikkoja, jotka voivat toimia monille lajeille ilmastorefugioina. Ison kokonsa takia rotkot ja kurut saattavat olla Suomessa havumetsävyöhykkeen tärkeimpiä ilmastorefugioita.

Puuston kasvu on lisääntynyt Suomessa suuresti viime vuosikymmeninä. Yli puolet tästä kasvun lisäyksestä arvioidaan johtuvan ilmaston lämpenemisestä ja ilman hiilidioksidipitoisuuden noususta (Kauppi ym. 2014). Ei kuitenkaan ole tiedossa, kuinka paljon puuston kasvu on lisääntynyt kallioilla, tai kuinka paljon kasvun lisääntyminen kalliodien lähimetsissä vaikuttaa kallioluontotyypeihin. Kasvun lisäys kallioilla voi johtua ilmastonmuutoksen lisäksi myös typpilaskeumasta, metsittämisestä ja metsäpalojen vähydestä. Näiden tekijöiden vaikutuksesta kenttäkerroksen peittävyys voi lisääntyä ja kasvillisuuden korkeus kasvaa. Jos seurauksena on umpeenkasvun voimistuminen, tällä on haitallisia vaikutuksia avointa tai puoliavointa kasvillisuuden rakennetta vaativille kallioluontotyyppien lajeille. Siten ilmastonmuutos voi lisätä typpilaskeuman haitallista vaikutusta kallioluontoon.

Puuston ja kenttäkerroksen lisääntyminen lisää varjostusta kallioilla. Tämän seurauksena etenkin etelään päin aukeavien kalliodien ilmastollinen äärevyys – tässä tapauksessa etenkin paahteisuus – voi vähentyä. Maksimilämpötilat kallion pinnalla laskevat, kun kasvillisuuden korkeus ja varjostus lisääntyvät (Stoutjesdijk & Barkman 1992). Eräissä eurooppalaisissa tutkimuksissa on havaittu, että ilmastonmuutos yhdessä muiden tekijöiden kuten typpilaskeuman kanssa voi aiheuttaa pienilmaston viilenemistä (WallisDeVries & van Swaay 2006; Oliver ym. 2012). Kalliodien osalta vastaavia tutkimuksia ei ole kuitenkaan tehty.

Kalliodien – kuten muidenkin luontotyyppien – kasvillisuus muuttuu, mutta eteläisestä lajistosta vain osa voi hyötyä ilmastonmuutoksesta (Oliver ym. 2012; Pykälä 2017). Osa eteläisistä lajeista saattaa jopa niukentua, jos pienilmasto ei muutukaan suotuisammaksi, vaan puusto lisääntyy ja lajit eivät pärjää kilpailussa muutoksista enemmän hyötyvien lajien kanssa. Tällöin kalliokasvillisuus muuttuu vaikeasti ennustettavalla tavalla. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovatkin erityisen vaikeasti arvioitavissa juuri paahdeympäristöissä. On kuitenkin hyvin mahdollista, että ilmastonmuutos vaikuttaa haitallisesti osaan kallioilla esiintyvistä paahdelajeista.

Aiemmin metsälaidunnus vähensi kalliodien kasvillisuutta ja kasvillisuuden korkeutta. Tämä johti pienilmaston äärevöitymiseen ja lämpenemiseen, korkeisiin kesäaikaisiin päivälämpötiloihin ja pienilmaston kuivumiseen (Pykälä 2001; 2017).

Laidunnuksen, kuten myös metsäpalojen dramaattinen väheneminen on 1900-luvulla aiheuttanut Suomessa kallioiden pienilmaston viilenemistä ja lämpötilojen äärivaihteluiden vähenemistä. Siten 1900-luvulla tapahtunut kallioiden pienilmaston viileneminen pitäisi ottaa huomioon arvioitaessa tulevan lämpenemisen vaikutusta kallioluontotyyppeihin. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat varsin erilaisia laidunnuksen vaikutuksiin verrattuna, mutta osalle eteläisestä lajistosta molemmat ovat eduksi. Sen sijaan pohjoiseen päin aukeavilla kallioilla pienilmaston lämpeneminen saattaa keskimäärin olla jopa etelään aukeavia selvempää. On kuitenkin luultavaa, että topografialtaan voimakkaasti vaihtelevilla kallioalueilla osa pohjoisrinteistä voi edelleen toimia ilmastorefugioina vaikka näiden alueiden suurilmasto muuttuukin.

Ilmastonmuutos myös lisää vieraskasvien aiheuttamaa riskiä kallioluontotyypeille. Vieraskasvien määrän lisääntyminen kallioilla tullee pääasiassa johtumaan viherrakentamisessa käytettävien koristekasvien määrän lisääntymisestä. Ilmastonmuutos saattaa hyödyttää kallioilla myös muista globaalimuutoksista hyötyviä lajeja kuten typensuosijalajeja.

Kaikkiaan kallioiden luontotyyppien voidaan odottaa muuttuvan selvästi, mutta muutoksen yksityiskohtia ei voida kuitenkaan nykytiedoin ennustaa. Kallioiden eliöyhteisöt eivät sellaisenaan siirry pohjoiseen päin, vaan yhteisöt muuttuvat tuntemattomalla tavalla, kun joillekin lajeille suotuisat elinolosuhteet siirtyvät satoja kilometrejä pohjoiseen päin, ja toisille lajeille tällaista siirtymää ei tapahdu. Muutokseen vaikuttavat sekä lämpötila, sademäärä että hiilidioksidipitoisuuden kasvu, mutta näiden suhteellista merkitystä on hyvin vaikea arvioida. Pohjoisen kalliolajiston voi olettaa pääasiassa taantuvan, mutta eteläisestä lajistosta vain osa hyötynee ilmastonmuutoksesta. Lisäksi ennustettu Itämeren vedenpinnan nousu on etenkin Suomenlahdella ja Saaristomerellä (Johansson ym. 2014) mahdollinen uhka merenrantakallioiden luontotyypeille.

Kalliokasvillisuudessa jäkälien ja sammalten osuus ja lajimäärä suhteessa putkilokasveihin on suurempi kuin useimmilla muilla luontotyypeillä. Ilmastonmuutoksen katsotaan yleensä hyödyttävän putkilokasveja jäkälien kustannuksella (Cornelissen ym. 2001; Alatalo ym. 2015). Sammalten osalta harvat empiiriset tutkimukset ja ennusteet muilta luontotyypeiltä (Alatalo ym. 2015; He ym. 2016; Scarpitta ym. 2017) ovat niin ristiriitaisia, että niiden perusteella kallioluontotyyppien sammallajien mahdollisia muutoksia on vaikea ennakoida. Kalliokasvillisuudesta voidaan siten esittää arvio, että jäkälien peittävyys ja lajimäärä voivat vähentyä ja putkilokasvien lisääntyä. Sammalilla hyvin epävarmana arviona voitaneen esittää, että peittävyys saattaa kasvaa, mutta lajimäärä vähentyä.

Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset saattavat olla selvimät pohjoisboreaalisen vyöhykkeen kallioluonnossa. Erityisesti Oulangan alue on tunnettu ilmastorelikteistään (Söyrinki & Saari 1980), joiden häviämiskasvun riskiä ilmastonmuutos lisää. Siten pohjoisboreaalisen kallioluonnon erityispiirteet voivat olla eniten uhattuja. Jossain määrin paradoksaalisesti sellaiset alueet, jotka ovat tärkeimpiä ilmastorefugioita ilmaston muuttuessa, voivat sisältää erityispiirteitä, joita ilmastonmuutos erityisesti uhkaa.

Kalliokasvillisuuden pinta-ala oletettavasti vähenee johtuen sekä ilmastonmuutoksesta että muista tekijöistä kuten typpilaskeumasta, metsittämisestä, metsäpalojen torjunnasta ja louhimisesta. Ennustettu sademäärän kasvu (Ruosteenoja ym. 2016) ja ilmankosteuden kasvu (Ruosteenoja & Räisänen 2013) voivat osaltaan vähentää kalliokasvillisuutta. Näistä samoista tekijöistä voi myös aiheutua luontotyyppien yksipuolistumista. Toisaalta kesälämpötilojen nousu saattaa osin kompensoida lisääntyvän sademäärän kasvua, mutta tässä tulee todennäköisesti olemaan alueellisia sekä vuosien välisiäkin eroja. Tulevaisuus voi siis tuoda kallioluontotyyppeihin monenlaisia kasvillisuusmuutoksia, joissa yhtenä päättrendinä kuitenkin todennäköises-

ti on varsinaisten kalliolajien runsauden väheneminen ja muiden kuin varsinaisten kalliolajien runsastuminen.

3.9.

Metsät

Pekka Punttila

3.9.1.

Johdanto

Boreaalisisä metsissä luontaiset häiriöt ovat keskeinen osa luontotyyppijä. Häiriödynamiikalla, johon voidaan lukea mukaan myös metsien hakkuut, onkin suuri vaikutus metsien rakenteeseen. Metsälajisto – myös puulajisto – on sopeutunut eri tyyppisiin ja vaihtelevin välein toistuviin häiriöihin nykyisessä ilmastossa, mutta ennustettujen ympäristömuutosten ennennäkemätön nopeus ja laajuus muodostavat huomattavan uhan metsille (Gauthier ym. 2015). Boreaalisten metsien laajamittainen ja tehokas talouskäyttö sekä lisääntyneet luontaiset häiriöt ovat myös muuttaneet metsien ikäluokkakajakaumia siten, että vanhojen metsien määrä on nopeasti vähenyt ja uudistushakkuiden tai luontaisten häiriöiden kautta syntyneiden nuorten metsien määrä on kasvanut. Kasvavien biotaloustavoitteiden seurauksena on hakuiden lisääntyminen ja hakkuukiertoaikojen lyhentymisen. Nämä yhdessä ilmastomuutoksesta johtuvien luontaisten häiriöiden lisääntymisen ja talousmetsistä puuttuvien luonnonmetsien rakennepiirteiden kanssa johtavat kehitykseen, joka on saavuttamassa ennennäkemättömät mittasuhteet (Kuuluvainen & Gauthier 2018). Niin hakuiden kuin talousmetsien luontaisten häiriöiden tuottamat metsien nuoret kehitysvaiheet poikkeavat rakenteeltaan suuresti luonnonmetsistä: suojelualueiden ulkopuolisten metsien kuolleen puun ja vanhojen elävien puiden määrät ovat hyvin pieniä myös myrskykaatoalueilla. Tämä johtuu etenkin vahingoittuneen puuston pelastushakkuista (*salvage logging*). Kyseinen kehitys aiheuttaa historiallisesti merkittävän muutoksen boreaalisten metsien ekologisessa tilassa, ja se muodostaa uhan metsäluonnon monimuotoisuudelle, metsäekosysteemien puskurointikyvyille (eli palautuvuudelle; *resilience*) ja pitkän aikavälin sopeutumiskyvyille (Kuuluvainen & Gauthier 2018).

Metsien ja ilmastomuutoksen vuorovaikutus on monimutkainen asia. Ilmastomuutos on jo lisännyt (Kauppi ym. 2014; Henttonen ym. 2017) ja oletettavasti tulee edelleen lisäämään puuston kasvua tulevaisuudessa. On kuitenkin epäselvää missä määrin kasvu tulee realisoitumaan lisääntyvänä puustoisuutena, koska ilmastomuutoksen myötä myös erilaisten puustoa tappavien laaja-alaisten abioottisten häiriöiden (metsäpalot, kuivuus, tuuli, lumi ja jää) ja bioottisten häiriöiden (hyönteistuholaiset, patogeenit) ennustetaan lisääntyvän (Soja ym. 2007; Seidl ym. 2017). Lisäksi on huomattava, että metsät vaikuttavat myös ilmastoon biofysikaalisten prosessien kuten pilvien muodostumisen ja albedon kautta. Kyseiset ilmiöt puolestaan riippuvat metsien rakenteesta (puulajisuhteista, tiheydestä), käsittelystä ja sijainnista, ja näiden yhdistelmästä riippuen metsien vaikutukset keskilämpötiloihin voivat vaihdella positiivisesta negatiiviseen (EASAC 2017). Ilmastomuutos eri ilmenemismuodoissaan (lämpötilan nousu, sademäärän ja häiriödynamiikan muutokset) vaikuttaa joka tapauksessa monin tavoin metsälajistoon ja metsäluontotyyppijihin. Lisäksi näitä vaikutuksia vahvistavat monet muut samanaikaisesti voimistuvat ihmistoiminnan aiheuttamat muutokset, kuten (luonnon)metsien pirstoutuminen ja niiden pinta-alan väheneminen sekä rehevöittävä laskeuma (Milad ym. 2011).

Ilmastonmuutos suorana ja epäsuorana uhkatekijänä metsäluontotyypeille

Euroopan tasolla ilmastonmuutoksen on arvioitu olevan uhkatekijä 24:lle metsäluontotyypille kaikkiaan 42:sta arvioidusta tyypistä. Ilmastonmuutoksen arvioidaan muuttuvan yhä merkittävämmäksi uhaksi useille vuoriston metsäluontotyypeille sekä boreaalisille metsäluontotyypeille, mutta se tulee aiheuttamaan muutoksia myös kuivissa ja termofiilisissä metsäluontotyypeissä (Janssen ym. 2016).

Boreaalisten metsien katsotaan olevan erityisen herkkiä ilmastonmuutokselle sijaintinsa vuoksi, sillä lämpötilan ennustetaan nousevan eniten juuri pohjoisilla leveysasteilla. Suomen ensimmäisessä, vuonna 2008 julkaistussa luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa ilmastonmuutos arvioitiin yhdeksi tulevaisuuden uhkatekijäksi pitkällä aikavälillä noin viidennekselle kaikista tarkastelluista luontotyypeistä (79/368 luontotyyppistä). Metsäluontotyyppien osalta kuusivaltaisten tuoreiden ja kuivahkojen kankaiden sekä kaikkien kuivien ja karukkokankaiden arvioitiin kärsivän ennustetusta kuusen vähenemisestä sekä rehevöitymisestä (Raunio ym. 2008; Aapala ym. 2017).

Sitä, missä määrin rehevöityminen on ilmastonmuutoksen aiheuttamaa – esimerkiksi seurausta ilmakehän hiilidioksidimäärän kasvusta, lämpenemisestä ja kasvukauden pidentymisestä – tai seurausta metsäpalojen puuttumisesta, ilmastatulevasta typpilaskeumasta, lannoituksesta, nuorten metsien harventamisesta, maanmuokkauksesta tai porojen ylilaidunnuksesta (Tonteri ym. 2008, s. 128), ei ole helppo arvioida, koska muutokset ovat tapahtuneet laajoilla alueilla osin samanaikaisesti. Typpilaskeuma ja yleinen rehevöityminen voivat joka tapauksessa aiheuttaa ilmastonmuutoksen kanssa samansuuntaisia muutoksia luontotyypeissä ja lajistossa (WallisDeVries & van Swaay 2006; Galloway ym. 2008; Fridley ym. 2016; Pöyry ym. 2017; Stefańska-Krzaczek ym. 2018). Euroopan puiden sienijuurien monimuotoisuutta kartoittavassa tutkimuksessa havaittiin, että puiden mykorritsasienet kärsivät typpilaskeumasta, ja että ne kärsivät paljon alhaisemmasta typpilaskeuman tasosta kuin aiemmin on uskottu. Typpilaskeumalle aiemmin esitetyt kriittisen kuormituksen raja-arvot Euroopassa (10–20 kg N/ha/v) ovat tutkimuksen mukaan liian korkeat, ja erityisesti meillä tärkeiden puulajien, kuusen ja männyn, mykorritsat kärsivät korkeasta typpilaskeumasta – tutkimuksen mukaan Pohjois-Suomessa ollaan tämän kriittisen tason alapuolella, mutta Etelä-Suomessa jo kriittisellä rajalla (van der Linde ym. 2018).

Suomen ensimmäisessä luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa todettiin ilmastonmuutoksen ja siihen liittyvien erilaisten lämpötila-, sademäärä ja tuuliolosuhteiden muutosten olevan vaikeasti ennustettavia uhkatekijöitä, ja luontotyyppikohtaisten vaikutusten olevan pitkälti epävarmoja tai tuntemattomia. Siksi ilmastonmuutosta käytettiin uhanalaisuuden astetta korottavana tekijänä vain niillä luontotyypeillä, joilla sen vaikutukset olivat jo havaittavissa tai selvästi ennakoitavissa (Raunio ym. 2008). Metsäluontotyyppien osalta todettiin silloisten mallinustennusteiden pohjalta, että boreaalisen metsäkasvillisuusvyöhykkeen eteläraja voi siirtyä huomattavasti pohjoisemmaksi, ja että lauhkean vyöhykkeen lehtimetsät tulevat leviämään Etelä-Suomeen lehti- ja jalopuiden hyötyessä ja havupuiden kärsiessä ilmastonmuutoksesta. Vaikka kuusen vähenemisen ennustettiin olevan mittavaa ja aiheuttavan huomattavia muutoksia metsäluontotyypeissä, muutosten arveltiin olevan vielä toistaiseksi niin hitaita, ettei niitä huomioitu suurella painoarvolla uhanalaisarvioinnissa. Esimerkiksi metsätalouden ja muun maankäytön arvioitiin vaikuttavan lämpenevää ilmastoa enemmän jalopuumetsien tilaan. Toisaalta ilmastonmuutosta pidettiin typpilaskeuman ohella rehevöitymiskehityksen yhtenä selittäjänä. Ilmastonmuutoksen arvioitiin kuitenkin tulevaisuudessa vaikuttavan

metsäluontotyyppeihin myös uusien tuhonaiheuttajien levitessä pohjoisemmaksi. (Tonteri ym. 2008.)

Suomen toisessa luontotyyppien uhanalaisuuden toisessa arvioinnissa metsäluontotyyppit on jaettu kangasmetsiin, lehtoihin ja joukkoon erikoismetsätyyppejä (Kouki ym. 2018b). Kangasmetsät on jaettu 15 arvioitavaan alaluontotyyppiin kasvupaikkatyyppin (lehtomaiset, tuoreet, kuivahkot, kuivat ja karukkokankaat), iän (nuoret, varttuneet ja vanhat) sekä osittain puulajisuhteiden (lehtipuu- ja havupuuvaltaiset lehtomaiset ja tuoreet kankaat) perusteella. Lehtometsät on jaettu seitsemään päätyyppiin kosteuden ja ravinteisuuden sekä jalopuiden esiintymisen perusteella, ja jalopuulehdot on jaettu edelleen seitsemään alatyyppiin, siis yhteensä 13 arvioitavaan alatyyppiin. Lisäksi arvioinnissa on erotettu kuusi muuta erikoismetsäluontotyyppiä: harjumetsien valorinteet, sisämaan dyynimetsät, sisämaan tulvametsät, kalliometsät, serpentiinivaikutteisen maapohjan metsät sekä jalopuustoiset kangasmetsät. Yhteensä arvioitavia metsäluontotyyppieä on 34, ja ylätyypit (kasvupaikkataso) mukaan lukien arvioitavia tyyppieä on 40. Arvioinnissa ilmastonmuutos oli tulevaisuuden suora uhkatekijä 18 arvioitavan yksikön kohdalla eli lähes joka toisen arvioitavan luontotyyppin kohdalla. Arvioinnissa tulevaisuuden uhkatekijöille annettiin painoarvo 1–3 uhkan arvioidun merkityksen mukaisesti (1 = melko vähäinen merkitys, 2 = melko suuri merkitys ja 3 = suuri merkitys). Silloin kun ilmastonmuutos katsottiin luontotyyppin suoraksi uhkatekijäksi, sen merkityksen arvioitiin kuitenkin olevan vielä toistaiseksi melko vähäinen jokaisen tyyppin kohdalla. Painotettaessa eri uhkatekijöiden merkitystä arvioinnissa käytetyllä 1–3 merkittävyysasteikolla, myös ilmastonmuutoksen kokonaispainoarvo metsäluontotyyppien uhka-arviossa oli 18 (18 tyyppiä * merkitystaso 1 = 18), mikä on 15 % teoreettisesta maksimikokonaispainoarvosta (40 arvioitua metsäluontotyyppiä × uhkatekijän merkitystaso 3 = 120; ks. Taulukko 13). Arvioinnissa ilmastonmuutoksen katsottiin vähentävän kuusta kuivuuden lisääntymisen takia, hyödyttävän lehtipuita lämpenemisen takia ja heikentävän karumpien kankaiden tilannetta rehevöitymisen vuoksi. (Kouki ym. 2018b.) Suorien vaikutusten lisäksi ilmastonmuutos voi vaikuttaa epäsuorasti myös muihin uhkatekijöihin. Ilmastonmuutoksen epäsuoria vaikutuksia metsäluonnon uhkatekijöihin ovat esimerkiksi lisääntyvän puuston kasvun kautta mahdollinen positiivinen vaikutus järeän, elävän ja kuolleen puun määrään, lisääntyvien luontaisten häiriöiden positiivinen vaikutus sekä kuolleen puun ja runsaslahopuustoisten nuorten sukkessiovaiheiden määrään että lehtipuun määrään. Toisaalta ilmastonmuutoksella on myös negatiivisia epäsuoria vaikutuksia, kuten esimerkiksi se, että kuolleen puun lahoaminen nopeutuu lämpenemisen myötä. Kuivuus- ja hellejaksojen sekä myrskyjen lisäämän puuston kuolleisuuden ja osittain näistä seuranneiden kirjanpainajan ja okakaarnakuoraisen aiheuttaman lisäkuolleisuuden on havaittu jo nyt lisänneen kuolleen puuston määrää Etelä-Suomessa, etenkin kun vähäisempien kuolleen puun määrien kohdalla puut on jätetty korjaamatta. Laajemmat myrskykaadot on kuitenkin VMI-koealamittausten perusteella korjattu nopeasti (Ihalainen & Ahola 2003; Viiri ym. 2011). Ilmastonmuutoksen ennustetaan kasvattavan sademääriä sekä lisäävän rankkasateita ja siten myös tulvia (Aaltonen ym. 2008). Suurten vuorokausisateiden määrä on suurempi Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa: suurten vuorokausisateiden esiintymisen todennäköisyys pienenee lineaarisesti pohjoista kohden (Aaltonen ym. 2008). Tähän liittyen tulvien lisääntyminen etelässä voisi parantaa sisämaan tulvametsien tilannetta, sillä uhanalaisuustarkastelussa sisämaan tulvametsät on luokiteltu vaarantuneiksi Etelä-Suomessa ja silmälläpidettäväksi Pohjois-Suomessa (Kouki ym. 2018b). Mikäli sadannat kasvavat 20 %, nykyilmastossa keskimäärin 3 vuoden välein toistuva tapahtuma tapahtuu tulevassa ilmastossa 2 vuoden välein (Aaltonen ym. 2008). Tulvien lisääntyminen voi vaikuttaa myös metsien laatuun metsäluonnon monimuotoisuuden näkökulmasta, sillä tulvat tyypillisesti lisäävät kuolleen puun määrää.

Taulukko 13. Metsäluontotyyppien merkittävimmät uhkatekijät tärkeysjärjestyksessä uhkatekijän merkityksen mukaan painotettuna ml. ilmastonmuutos (1 = melko vähäinen merkitys, 2 = melko suuri merkitys ja 3 = suuri merkitys; Kouki ym. 2018b).

Uhkatekijä	Uhkatekijän merkitys			Osuus luontotyy- peistä (maks. 40)	Uhkatekijän painoarvo	Osuus maksimi- painoarvosta (maks. 120)
	1	2	3			
Ml -Lahopuun väheneminen	4	20	14	95 %	86	72 %
Mv -Vanhojen metsien väheneminen	3	31	4	95 %	77	64 %
Mp -Metsien puulaji- suhteiden muutokset	6	16	10	80 %	68	57 %
Mk -Kuloalueiden väheneminen	17	7	7	78 %	52	43 %
Lp -Laidunnuspaine	30	7	0	93 %	44	37 %
M -Metsien uudistamis- ja hoitotoimet	26	4	0	75 %	34	28 %
...						
Im -Ilmastonmuutos	18	0	0	45 %	18	15 %

On huomattava, että ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja siihen sopeutumiseen suunnitellut toimenpiteet voivat vaikuttaa näihin samoihin rakennepiirteisiin ja siten luontotyyppien laatuun. Haitalliset vaikutukset korostuvat erityisesti energia-
puun kohdalla silloin, kun järeää runko-, kanto- ja juuripuuta korjataan uusiutuvaksi energiaksi uudistushakkuissa sekä silloin, kun lehtipuita korjataan energiapuuksi harvennushakkuissa.

Suomen toisessa metsäluontotyyppien uhka-arvioinnissa korkeimmat kokonais-
painoarvot saivat (1) lahopuun (kuolleen puun) väheneminen (uhkatekijä Ml, kokonaispainoarvo 86), (2) vanhojen metsien ja kookkaiden puiden väheneminen (Mv, 77), (3) puulajisuhteiden muutokset (Mp, 68), (4) kuloalueiden ja muiden luontaisen sukkession alkuvaiheiden väheneminen (Mk, 52), (5) voimakas laidunnuspaine (Lp, 44) ja (6) muut metsänhoitotoimet kuten metsien uudistaminen (M, 34) (Taulukko 13). Muiden uhkatekijöiksi arvioitujen tekijöiden kokonaispainoarvo oli huomattavasti pienempi (vaihteluväli 1–22) (Kouki ym. 2018b).

Euroopan tasolla habitaattidirektiivi on keskeinen instrumentti luontotyyppien suojelussa. Kirjallisuushaussa Web of Science (Core Collection) -julkaisutietokannasta habitaattidirektiivin metsäluontotyyppien nimillä ei kuitenkaan löytynyt kuin yksi artikkeli, jossa käsiteltiin ilmastonmuutosta tulevaisuuden uhkana metsäluontotyyppille. Ilmastonmuutoksen katsottiin olevan korkea uhkatekijä tulvametsien (91E0), raviini- ja rinnelehtojen (9180) sekä puustoisten soiden (91D0) säilymiselle Sloveniassa (Kutnar ym. 2011 ja viitteet siinä).

3.9.3.

Puulajit ja ilmastonmuutos

Mallinnustutkimusten mukaan ilmastonmuutos aiheuttaa suuria muutoksia eri puulajien esiintymisessä. Esimerkiksi Kellomäen ym. (2005; 2008) mukaan ilmas-
tonmuutos voi vaikuttaa merkittävällä tavalla Pohjois-Euroopan talousmetsien dynamiikkaan erityisesti boreaalisen vyöhykkeen pohjois- ja eteläreunoilla: pohjoisessa metsän kasvu todennäköisesti lisääntyy, mutta etelässä ilmasto muuttuu kuusen kannalta huonommaksi, ja mäntyvaltaisuus saattaa voimistua osalla aiemmin kuusi-
valtaisista vähäravinteisemmista kasvupaikoista, joilla myös koivuvaltaisuus saattaa kasvaa.

Dyderski ym. (2018) mallinsivat 12:n eurooppalaisen puulajin levinneisyysalueiden muutoksia kolmen eri ilmastonmuutosskenaarion (RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5) perusteella vuosille 2061–2080. Työssä käytettiin aiempaa parempaa levinneisyysaineistoa ja 19 bioklimaattista muuttujaa. Mallinnustulosten mukaan puulajit voitiin jakaa ”voittajiin”, jotka olivat enimmäkseen sukkession myöhäisvaiheen lajeja (Suomessa luontaisesti esiintyvistä lajeista näihin kuuluvat saarni ja tammi), ”häviäjiin”, joista useimmat olivat pioneirilajeja (Suomessa esiintyvistä lajeista rauduskoivu, kuusi ja mänty) sekä vieraslajeihin, joita voi pitää myös ”voittajina” (Dyderski ym. 2018). Mikäli lajien siirtymiskyky on rajoittunut, suurimmalla osalla mallinnuksessa mukana olleista lajeista sopivan elinympäristön määrä tulee vähenemään merkittävästi. Uhatuimpia ovat lajit, joiden tämänhetkisen levinneisyysalueen keskipisteet ovat pohjoisimpana (Dyderski ym. 2018). Mallien ennustamat levinneisyysalueiden supistumiset aiheuttavat vakavia seurauksia niin metsätaloudelle kuin luonnonsuojelullekin (Dyderski ym. 2018). On kuitenkin huomattava, että vaikka mallinnustyöt ennustavat metsäekosysteemien merkittäviä levinneisyysmuutoksia, mallit voivat myös yliarvioida metsien siirtymistä, sillä puulajien aikaisempi leviäminen on ollut hidasta (Schaphoff ym. 2016). Puulajien jääkauden jälkeisessä leviämishistoriassa pienten, eristyneiden pohjoisten refugipopulaatioiden vaikutus lajien leviämiseen on ilmeisesti ollut merkittävä, ja niillä saattaa olla merkitystä myös tulevaisuudessa ilmaston muuttuessa (Feurdean ym. 2013). Monia puulajeja on istutettu ihmisen toimesta sopiville kasvupaikoille kauas lajien luontaisilta levinneisyysalueilta, ja tällaiset pienilmastolliset suojapaikat voivat nopeuttaa lajien levittäytymistä myös tulevaisuudessa (Feurdean ym. 2013).

Lajien leviämisessä niiden ominaisuuksilla kuten kilpailukykyyn vaikuttavalla varjostuksen sietokyvyllä on suuri merkitys. Temperaattisen vyöhykkeen lehtipuiden leviämiseen ja lisääntymiseen pohjoisempana voi merkittävästi vaikuttaa se, miten ilmastonmuutos muuttaa kuusen menestymistä. Lehmuksen levinneisyyden supistumiseen Fennoskandiassa on vaikuttanut erityisesti viimeisen 7000 vuoden aikana Fennoskandiaan levinneen kuusen aiheuttama voimakas kilpailupaine. Siten ilmaston lämpeneminen ja lisääntyvä kesäaikainen kuivuus voi johtaa kuusen laajamittaiseen taantumiseen boreaalisella vyöhykkeellä, jolloin lehmuksen mahdollisuudet levittäytyä pohjoisemmaksi paranevat (Seppä ym. 2009). On myös mahdollista, että vähenevästä lumipeitteestä hyötyvät hirvieläimet (hirvi, metsäkauris) vaikuttavat tulevaisuudessa nykyistäkin voimakkaammin kasvillisuuteen: hirvi suosii puulajeista ravintonaan erityisesti mäntyä ja lehtipuita kuten pihlajaa, haapaa ja koivua, ja kasvavat hirvi- ja metsäkauriskannat voivat ravintovalinnallaan hyödyttää kuusta (Niemelä ym. 2001).

3.9.4.

Ilmastonmuutos ja metsien häiriödynamiikka

Uhanalaisarvioinnissa käytetty laadun arviointi perustui etenkin kangasmetsien luontotyyppien osalta pääasiassa puuston rakennepiirteisiin, kuolleeseen puuhun, järeisiin eläviin puihin sekä lehtipuun osuuteen (Kouki ym. 2018b). Kaikki nämä rakennepiirteet liittyvät suoraan metsien häiriödynamiikkaan ja sen vaihteluun. Euroopan metsien luontaisten häiriöiden esiintymistä 1850–2000-luvuilla selvittäneen kirjallisuuskatsauksen mukaan häiriöt ovat lisääntyneet selvästi. Tämän tutkimuksen kattaman ajanjakson viimeisen 50-vuotisjakson aikana puustoa vaurioitui häiriöissä keskimäärin 35 miljoonaa kuutiota vuosittain, mutta vuosien välien vaihtelu oli kuitenkin suurta (Schelhaas ym. 2003). Puolet (53 %) tuhoista oli myrskyjen aiheuttamia. Metsäpalojen osuus tuhoista oli 16 %. Bioottiset häiriöt aiheuttivat 16 % tuhoista, ja niistä puolet oli kaarnakuoriaisten aiheuttamia. (Schelhaas ym. 2003.) Keski-Euroopassa kuusta on istutettu laajoille alueille sen luontaisen esiintymis-

alueen ulkopuolelle. Näillä alueilla ilmastonmuutos on jo lisännyt huomattavasti kuivuus-, myrsky- ja kirjanpaina- ja tuhoja (Hlásny ym. 2019). Suuret tuhot ovat esiintyneet tyypillisesti aaltoina, ajallisesti synkroniassa (Senf ja Seidl 2018). Suomessa tärkeimmät, vuosittain eniten taloudellisia tappioita aiheuttavat häiriötekijät ovat juurikääpä, tuuli ja hirvi (Hynynen ym. 2017). Tuulen, kaarnakuoriaisten ja metsäpalojen aiheuttamat häiriöt ovat lisääntyneet Euroopassa koko viime vuosisadan ajan, ja ilmastonmuutos on tunnustettu tämän kehityksen pääasialliseksi aiheuttajaksi (Seidl ym. 2014). Pohjoisessa myös lumikuorma on tärkeä abioottinen häiriötekijä (Lehtonen 2017). Kuolleen puun määrä voi ilmastonmuutoksen myötä kasvaa myös lisääntyvien lumenmurtojen vuoksi, sillä vaikka lumipeite ohenee ja muuttuu epävarmemmaksi, talven suurin lumikuorma voi kuitenkin kasvaa etenkin pohjoisessa (Lehtonen ym. 2016a).

Ilmastonmuutoksen ennustetaan muuttavan metsien häiriödynamiikkaa monella tavalla. Ilmastonmuutoksen tiedetään vaikuttavan sekä suoraan että epäsuorasti moniin abioottisiin (palot, kuivuus, tuuli, lumi ja jää) ja bioottisiin (tuholaiset, patogeenit) häiriötekijöihin (Seidl ym. 2017), joiden yhdysvaikutukset voivat edelleen vahvistaa häiriöitä (Price ym. 2013; Seidl ym. 2017). Toisaalta Ilmastonmuutoksen aiheuttamat kasvillisuusmuutokset voivat pitkällä aikavälillä myös vähentää metsien häiriöherkkyyttä (Seidl ym. 2017).

Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin liittyviä epävarmuuksia on paljon. Esimerkiksi ikiroudan sulamisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt eivät välttämättä kompensoitu arktisen ja boreaalisen alueen biomassan kasvulla, kuten nykyiset ilmastomallit ennustavat. Tämä johtuu siitä, että biomassan kasvu voi jäädä nykyisten mallien ennustamaa vähäisemmäksi kuivuusstressin ja lisääntyvien häiriöiden kuten metsäpalojen vuoksi (Abbott ym. 2016). Jos puuston määrä lisääntyy, myös kuolleen puun määrä voi lisääntyä (Mazziotta ym. 2014; Korhonen ym. 2016). Myös ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja siihen sopeutumiseen suunnitellut toimenpiteet, esim. energiapuun, etenkin kuolleen järeän runkopuun sekä järeän kanto- ja juuripuun korjuu uusiutuvaksi energiaksi, voivat kuitenkin vaikuttaa näihin samoihin rakennepiirteisiin ja siten luontotyyppien laatuun. Vaikka ilmastonmuutosskenaarioiden ennustama lisääntynyt puuston kasvu tulee oletettavasti lisäämään myös kuolleen puun määrää, lisääntyvä biomassan käyttö (metsäteollisuus, energiakäyttö) voi vähentää kuolleen puun määrää vielä enemmän. Esimerkiksi kuolleen puun määrän kehittymistä Euroopan metsissä tutkineen Verkerkin ym. (2011) mukaan vuosina 2005–2030 perusskenaarion tuottama 6,5 %:n kasvu kuolleen puun määrässä kääntyi 5,5 %:n vähenemäksi biomassan korjuun intensiteettiä kasvatettaessa (Verkerk ym. 2011).

Ilmaston lämmetessä myös lahoamisnopeuden kasvu voi vähentää lahoppuun määrää metsissä (Weslien ym. 2009; Mazziotta ym. 2014; 2016). Lämpimissä olosuhteissa puu lahoaa nopeammin (ks. Finér ym. 2016 ja viitteet siinä) ja lämpimässä ilmastossa lahoppuun määrä vähenee mallinnustulosten mukaan tuottavuustasosta riippumatta (Weslien ym. 2009). Finérin ym. (2016) tutkimuksessa kahden eri mäntylajin ja haavan puuaines lahosi nopeammin lämpimällä avohakkuualalla kuin hakkaamattomassa, sulkeutuneessa metsässä, ja maaperän lämpötila oli tärkein lahoamisvauhtia selittänyt tekijä (Finér ym. 2016). Venugopal ym. (2016) osoittivat kokeellisessa laboratoriotutkimuksessa, että männynlämpötilaa ja kosteutta tärkeämpi lahoamisnopeuteen vaikuttava tekijä oli puun laatu; nopeasti kasvanut talousmetsäpuu lahosi nopeammin kuin luonnonmetsästä peräisin oleva, satoja vuosia vanha keloutunut mäntypuu tai hitaasti kasvanut talousmetsäpuu. Puun laadun lisäksi puulla kasvanut lahottajasienilaji vaikutti lahoamisvauhtiin. Tutkimuksessa paljastui myös lajispesifejä yhdysvaikutuksia lämpötila-, kosteus- ja laatuvaikutusten välillä (Venugopal ym. 2016).

Ilmaston lämmetessä etelästä leviävät lajit voivat aiheuttaa lisäuhkaa luontotyypeille. Tällaisia lajeja edustaa esimerkiksi havupuita uhkaava havununna (*Lymantria*

monacha), jonka kanta on 80-kertaistunut Suomessa yöperhosseurannan 20-vuotisseurantajakson aikana (Leinonen ym. 2017). Havununna on runsastunut huomattavasti 1990-luvulta alkaen – ilmeisesti lajin munavaiheen aikaisten eli talvilämpötilamien nousun vuoksi – ja sen levinneisyysalue on laajentunut etelärannikolta noin 200 km pohjoisemmaksi kahdessa vuosikymmenessä (Fält-Nardmann ym. 2018). Havununna on vakavasti otettava havumetsätuholainen Keski-Euroopassa. Siitä voi tulla uhka havupuille myös uusilla alueilla pohjoisempana. On kuitenkin arvioitu, että tuhoriskin vähentämisessä havu-lehtipuu -sekametsä rakenteet ovat ilmeisesti ekologisesti vakaampia ja sietävät paremmin häiriöitä kuin tasaikäiset havupuumonokulttuurit (Fält-Nardmann ym. 2018).

Monilajiset sekametsät ovat myös tuottavampia ja tehokkaampia hiilinieluja kuin vähälajiset metsät tai monokulttuurimetsät (Liang ym. 2016). Vaikka ilmastonmuutos suosii lehtipuuston lisääntymistä, niin ilmastonmuutoksen hillinnän perusteella harjoitettavalla energiapuun korjuulla voi olla suuri vaikutus talousmetsien lehtipuuston määrään. Tällä hetkellä vähäarvoista lehtipuustoa korjataan energiapuuharvennusten yhteydessä haketettavaksi lämpö- ja voimalaitosten polttoaineeksi, vaikka metsänhoidon suosituksissa lehtipuusekoitusta kehoitetaan vaalimaan kaikissa hakkuissa, myös energiapuun korjuun yhteydessä (Äijälä ym. 2014; Koistinen ym. 2016). Jalojen lehtipuiden osalta lisäuhan muodostavat niillä esiintyvät taudit, kuten saarnensurma (*Hymenoscyphus pseudoalbidus*) ja hollanninjalavatauti (*Ophiostoma ulmi*) sekä tammen äkkikuolema eli versopolte (*Phytophthora ramorum*) (Lilja ym. 2010; Pautasso ym. 2013; Hannunen & Marinova-Todorova 2016). Esimerkiksi hollanninjalavataudin ja sen vektorilajien arvioidaan levittyvän pohjoisemmaksi ilmaston lämmetessä. Tämä saattaa johtaa uhanalaisten jalavalehtojen tuhoutumiseen, ellei näiden laikuttainen esiintyminen hidasta taudin leviämistä (Hannunen & Marinova-Todorova 2016). Ilmastonmuutos voi vaikuttaa myös havupuiden patogeeneihin – esimerkiksi kuusen mustakoroa aiheuttava *Neonectria fuckeliana* -sieni on viime vuosina yleistynyt voimakkaasti ja vahingoittanut kuusen taimikoita varsinkin Suomen eteläosissa (Uimari ym. 2018).

Ilmaston lämpeneminen ja etenkin talviaikaisten sateiden lisääntyminen (Jylhä ym. 2009) voivat myös edistää meiltä toistaiseksi puuttuvien kasvitautien leviämistä Suomeen (Lilja ym. 2010). Monet virus- ja muita tauteja levittävät hyönteiset ovat meiltä puuttuneet juuri ankaran talven takia (Jylhä ym. 2009; Lilja ym. 2010). Männyllä ja kuusella tyvilahon – juurikääpätuhojen – ennustetaan lisääntyvän ja leviävän yhä pohjoisemmaksi kasvukauden pidentyessä ja sulanmaan aikaisten metsänhakkuiden määrän lisääntyessä (Peltola ym. 2012).

Kaikki edellä mainitut metsien häiriödynamiikan muutokset tulevat vaikuttamaan suuresti myös metsäluontotyyppien rakenteeseen. Ilmastonmuutos lisää luontotyyppien ennallistamiseen ja suojelualuesuunnitteluun liittyviä epävarmuuksia (Aapala ym. 2017, s. 115–117), ja ilmaston lämpeneminen tulee aiheuttamaan metsien ennallistamiselle mm. teknisiä ongelmia routa-ajan lyhentyessä entisestään (Ihantola 2011).

Suomen Kansallisen metsästrategian 2025 päivityksessä nostettiin esille ilmastonmuutoksen vaikutukset häiriödynamiikan muutoksiin ja sitä kautta erilaisten metsätuho-riskien kasvuun (Maa- ja metsätalousministeriö 2019, s. 63): ”Arvioiden mukaan metsien kasvu kiihtyy Suomessa ilmasto-olosuhteiden muuttuessa. Samaan aikaan kuitenkin myös erilaiset metsätuho-riskit kasvavat. Muuttuva ilmasto mahdollistaa uusien tuholaisten lisäksi jo olemassa olevien tuhonaiheuttajien lisääntymisen. Jotta tuhojen vaikutusta metsien terveydelle, puuntuotannolle ja puumarkkinoiden toimintaan voidaan vähentää, tulee metsätuhojen seurannan olla aktiivista ja reagoida tuhoihin jo alkuvaiheessa. Ruotsin suuret metsäpalot vuonna 2018 sekä aikaisempien myrskyjen jälkeiset laajat hyönteistuhot osoittavat riskeihin varautumisen kiireellisyyttä.”

Tuli – metsäpalot

Metsäpalojen puuttuminen Suomen metsäluonnosta on ehkä suurin yksittäinen muutos metsien häiriödynamiikassa. Metsäpalojen luontainen määrä on vaihdellut suuresti muun muassa ilmastollisista syistä (Aakala ym. 2018) ja jo pitkään erityisesti ihmistoiminnan vaikutuksesta (Wallenius 2008; 2011; Rolstad ym. 2017; Aakala ym. 2018). Ihmistoiminnan tiedetään joko lisänneen metsäpaloja esimerkiksi metsästyksen, tervanpolton tai kaskeamisen vuoksi tai, kuten nykytilassa, lopettaneen metsäpalot lähes tyystin tehokkaan palovartioidon ja metsäpalojen sammuttamisen vuoksi. Metsien ennallistamisen ja luonnonhoidon työryhmä Metsä-ELO esitti minimiarvion Suomen nykyilmastossa potentiaalisesti luontaisesti syttyvistä metsäpaloista maa- ja metsätalousministeri Jari Lepän ja ympäristöministeri Kimmo Tiilikaisen ns. pyöreän pöydän keskusteluprosessille. Tämä minimiarvio perustui tutkimuksissa todettuihin pisimpiin, noin 1 000 vuoden palokiertoihin, jolloin vuosittain palava pinta-ala olisi luokkaa 25 000 hehtaaria (ks. myös Liite 1 julkaisussa Lindberg ym. 2018). Tämä on moninkertainen määrä nykyiseen tilanteeseen, jossa metsäpaloja syttyy vuosittain vain noin 1 000 kappaletta. Lisäksi näiden palojen pinta-ala jää hyvin pieneksi, keskimäärin vain 0,5 hehtaariin per palo (Lehtonen 2017).

Ilmastollisen metsäpalariskin on ennustettu kasvavan ilmastonmuutoksen myötä (de Groot ym. 2013; Mäkelä 2015; Venäläinen ym. 2016; Lehtonen 2017). Potentiaalisten palopäivien määrä voi kasvaa lyhyellä aikavälillä 1–2 vrk/vuosi ja pitkällä aikavälillä, vuosisadan loppuun mennessä 7–10 vrk/vuosi (Mäkelä 2015; Venäläinen ym. 2016; Lehtonen 2017). Suurehkojen, yli 10 hehtaarin metsäpalojen on arvioitu lisääntyvän (Lehtonen ym. 2016b). Metsäpalojen syttymiset epäilemättä tulevat lisääntymään eli pienialaisten palojen määrä kasvamaan. Kuitenkin sekä metsärakenteessa tapahtuneet muutokset että tehokas palontorjunta tulevat hyvin todennäköisesti estämään paloalan merkittävän lisääntymisen Suomessa myös tulevaisuudessa (Lindberg 2017). Palojen todennäköisyyttä vähentää merkittävästi Suomessa pienillä ja selkeillä metsätaloustyökaluilla harjoitettava tasarakenteinen metsänkasvatus, jossa latvuskerrokset ovat selvästi erillisiä ja jossa harvennukset toteutetaan säännöllisesti ja samalla estetään luonnonpoistuman synty tai korjataan se talteen (Agee & Skinner 2005; Lindberg 2017).

Periaatteessa metsäpalariskin kasvu voi mahdollistaa myös laajojen metsäpalojen esiintymisen, mutta Suomessa tämä ei todennäköisesti kuitenkaan realisoidu. Esimerkiksi Ruotsissa on esiintynyt laaja-alaisia metsäpaloja Suomeen verrattuna paljon ja säännöllisesti, mutta tämä johtuu muista kuin ilmastollisista syistä. Maanomistussuhteista johtuen Ruotsin metsissä kuviokoko on paljon suurempi kuin Suomessa, mikä mahdollistaa palojen tehokkaan leviämisen. Lisäksi Ruotsin metsäautotieverkosto on paljon harvempi kuin Suomen, mikä estää palontorjuntakaluston nopean pääsyn metsäpalokohteille, ja Ruotsin maaseudun palokuntajärjestelmien sammutuskalustolla on pitkä matka palokohteille (Lindberg 2017; Henrik Lindberg henkilökohtainen tiedonanto). Palohistoriatutkimusten tulokset ovat osoittaneet ilmastollisen vaihtelun vaikutuksen metsäpaloihin mutta myös sen, että ihmistoiminnalla, muun muassa tulenkäyttötavoilla, on huomattavan suuri vaikutus paloihin. Jo hyvin pieni ihmismäärä on pystynyt muuttamaan palojen esiintymistiheyttä (syntymistiheyttä) eli paloregiimiä. Metsäpalot ovat käytännössä hävinneet laajoilta alueilta boreaaliselta metsäkasvillisuusvyöhykkeeltä, mikä ei johdu ilmastosta vaan ihmistoiminnan muutoksista (Wallenius 2008; 2011; Aakala ym. 2018).

Kuivahkojen ja kuivien kankaiden sekä karukkokankaiden ja harjujen paahderinteiden tilanne ei todennäköisesti merkittävästi parane metsäpalojen vuoksi tulevaisuudessakaan. Siksi näiden elinympäristöjen luontaisia suksessioita on tarve ylläpitää suojelualueiden polttotoimilla, muun muassa niin sanottujen karuunnuttamiskulotuksien avulla (Matveinen ym. 2015; Kouki ym. 2018b; Lindberg ym. 2018;

Hyvärinen ym. 2019). Hyvän leviämiskyvyn omaavien, lyhytikäisiä paloaloja vaativien pyrofiililajien tilanne saattaa kuitenkin helpottua, mikäli pienialaisten palojen määrä kasvaa kuten on ennustettu.

3.9.4.2.

Tuuli

Vaikka keskimääräiset tuulen voimakkuudet pysyisivät ennallaan tai vaikka myrskytuulten määrä ei kasvaisi ilmastomuutoksen myötä, sulan maan ajan piteneminen lisää myrskynkaatojen todennäköisyyttä kovien syystuulten kaataessa helpommin puita roudattomasta maasta (Peltola ym. 2010; Gregow ym. 2011; Gregow ym. 2017). Pintajuuriset puulajit kuten kuusi ovat erityisen tuuliherkkiä, ja kosteilla maapohjilla pintajuurisuus vielä korostuu. Tämän vuoksi myrskykaadot säilynevät merkittävänä luontaisena häiriötekijänä Suomessa myös tulevaisuudessa (vrt. Hynynen ym. 2017). Laajoilla suojelualueilla tilanne kuitenkin todennäköisesti poikkeaa talousmetsistä, sillä verrattuna latvustoltaan yhtenäisiin metsäalueisiin, tuulenkaatojen todennäköisyys on sitä suurempi, mitä suurempia aukkoja (esimerkiksi hakkuualoja) metsissä on (Panferov & Sogachev 2008; Lindenmayer ym. 2018). Suomessa avohakkuualojen koko on pienentynyt huomattavasti sotien jälkeisen ajan kymmenien hehtaarien kokoisista hakkuualoista tyypillisesti alle kahteen hehtaariin etenkin Etelä-Suomessa.

Sekä Etelä-Ruotsissa että Etelä-Suomessa on havaittu, että 2010-luvun myrskykaadot ovat lisänneet kuolleen puun määrää jo nyt huomattavan paljon enemmän kuin mitä esimerkiksi talousmetsien sertifiointistandardien vaatimien säästöpuiden on arvioitu sitä lisänneen (Jonsson ym. 2016; Korhonen ym. 2016). Ilmastomuutoksen myötä tuulenkaadot tulevat lisääntymään myös pohjoisempana, jossa kuolleen puun määrä ei kuitenkaan ole inventointiaineistojen mukaan kasvanut sen enempää Suomessa kuin Ruotsissakaan (Jonsson ym. 2016; Korhonen ym. 2016), päinvastoin, vaikka talousmetsien luonnonhoito on pohjoisessa samalla tasolla kuin etelässä, kuolleen puun määrä on jatkuvasti vähentynyt Pohjois-Suomessa ja kasvanut Etelä-Suomessa (Luonnonvarakeskus 2018), jossa pitkät kuivuusjaksot ja myrskyt ovat jo nyt lisänneet puuston kuolleisuutta. Vaikka myrskytuhopuut pyritään korjaamaan pois metsistä, myrskyt ovat lisänneet kuolleen puun määrää. Tämä johtuu siitä, että etenkin vähäisten tuhojen alueella puuta jää väistämättä myös korjaamatta (Ihalainen & Ahola 2003; Viiri ym. 2011). Lahopuumäärien kasvu on näin mahdollista myös talousmetsissä, vaikkakin se on hitaampaa kuin suojelluilla alueilla, joilla kuollutta puuta ei tuhoudu metsäkoneiden alle eikä sitä korjata hakkuissa (Korhonen ym. 2016). Ilmastomuutoksen aiheuttaman lämpötilan nousun, pidentyneen kasvukauden sekä typpilaskeuman vuoksi kuusen, männyn, pyökin ja talvitammen (*Quercus petraea*) puuaineksen tiheyden on osoitettu pienentyneen viimeisten 150 vuoden aikana Keski-Euroopassa, mikä voi myös lisätä puuston alttiutta tuulenkaadoille ja sitä kautta lisätä kuolleen puun määrää (Pretzsch ym. 2018).

3.9.4.3.

Kuivuus

Kuivuus lisää puuston kuolleisuutta. Pääpuulajeistamme kuusi on erityisen herkkä kuivuusstressille, koska sen juuret ovat lähellä maan pintaa. Kuivuus on siten erityisen merkittävä häiriötekijä juuri kuusikoissa (Aakala & Kuuluvainen 2011; Kuuluvainen ym. 2014). Ilmastomuutos aikaistaa lumen ja roudan sulamista keväisin, jolloin maaperä kuivuu, ja poikkeukselliset kuivuusjaksot tulevat yleistymään (Ruosteenoja ym. 2018). Tämän odotetaan lisäävän puuston kuolleisuutta. Valtakunnan metsien inventointien (VMI) tulosten mukaan erityisesti kuolleen pystypuun määrä kasvoi Etelä-Suomessa kahden ensimmäisen mittausajankohdan (VMI9 v. 1996–2003 ja VMI10 v. 2004–2008) välillä (Korhonen ym. 2013). Tämä voi osittain olla seurausta 1990-luvun

loppupuoliskolle osuneista perättäisistä keskimääräistä vähäsateisemmista kesistä (ks. <http://ilmatieteenlaitos.fi/kesatilastot>), jotka lisäsivät puiden kuivuusstressiä.

Laajamittaisia kuivuus- ja hellejaksojen laukaisemia puustokuolemia on sattunut sen jälkeenkin Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa haihdunta on vähäisempää, minkä vuoksi kuivuudesta seuraavien puustokuolemien todennäköisyys on pohjoisessa pienempi. Kuivuuden ja pitkien hellejaksojen edesauttamat kaarnakuoriaisten massaesiintymiset ovat lisänneet kuolleen puun määrää Etelä-Suomessa jo nyt niin kuusikoissa (Nuorteva & Nuorteva 1998; Siitonen & Pouttu 2014) kuin männiköissäkin (Pouttu ym. 2007; Siitonen 2014). Yleisesti ottaen kuivuusstressi altistaa kasvit laajemminkin herbivorialle ja edesauttaa kasvinsyöjien massaesiintymiä (Mattson & Haack 1987).

3.9.4.4.

Nisäkkäiden laidunnuspaine

Kasvinsyöjänisäkkäiden – hirvi- ja jäniseläinten – tiheät kannat voivat vaikuttaa metsäluontotyyppeihin voimakkaan laidunnuspaineen kautta, ja vaikutus voi olla päinvastainen ilmastomuutoksen vaikutukseen nähden: voimakas laidunnuspaine voi vähentää lehtipuuston määrää. Suomen hirvikanta kasvoi huippulukemiin 1980-luvun alkupuoliskolla, laski jonkin verran 1990-luvun puoleenväliin mennessä, mutta nousi uusiin huippulukemiin vuonna 2000. Tämän jälkeen hirvikanta on jälleen pienentynyt, mutta on edelleen huomattavan suuri, noin nelinkertainen verrattuna 1960-luvun loppupuoliskon kannankokoon (Pusenius ym. 2018). Hirvituhojen osuus nousi valtakunnan metsien 8. (1986–1994) ja 10. (2004–2008) inventoinnin välillä 3,6 %:sta 8,6 %:iin (Nevalainen ym. 2016). Valkohäntäpeuran kanta on kasvanut vielä voimakkaammin. Lajin talvikanta on noin kahdeksankertaistunut vuodesta 1990 vuoteen 2017 (Kukko ja Pusenius 2018a; Kukko ja Pusenius 2018b). Luonnonvarakeskuksen koordinoiman lumijälkilaskennan 30-vuotisen historian aikana myös metsäkauriin ja rusakon määrät ovat kasvaneet koko ajan, mutta metsäjänisten määrä on vähentynyt huomattavasti (Helle ym. 2018).

Kasvava laidunnuspaine vaikuttaa väistämättä muun muassa lehtipuuston uudistumiseen, ja voimakas laidunnuspaine onkin arvioitu uhkatekijäksi useimmilla metsäluontotyypeillä (93 %; Taulukko 13) (Kouki ym. 2018b). Voimakkaan laidunnuspaineen vaikutus lehtipuuston – haavan, raidan, tammen ja pihlajan – uudistumiseen näkyy koko metsämaiseman tasolla (Angelstam ym. 2017a; Angelstam ym. 2017b). Esimerkiksi haavan määrä on vähentynyt monilla vanhojen metsien suojelualueilla, kun vanhat puut kuolevat eikä haapa enää uudistu näillä kohteilla. Pohjois-Karjalan–Kainuun alue on haavoilla elävän uhanalaistuneen kääpälaajiston esiintymisen ydin- aluetta, mutta haapaa uhkaa häviäminen alueen vanhojen metsien suojelualueilta vanhojen puiden kuollessa pois (Kouki ym. 2004; Junninen 2012). Haavan määrä Etelä-Suomessa on ollut pitkään kasvussa (Korhonen ym. 2016), mutta Itä-Suomen vanhojen metsien suojelualueilla elävien haapojen määrä on vähentynyt 37 % noin 20 vuodessa (Kouki ym. 2004; Hardenbol ym. 2020). Suojelualueiden lähiympäristöön on ehdotettu lehtipuiden uudistumisen mahdollistavia tukialueita lehtipuista riippuvaisten lajien populaatioiden tulevaisuuden turvaamiseksi (Kouki ym. 2004; Kuuluvainen ym. 2004; Junninen 2012). Haavan lisääntynyt määrä voisi antaa tähän mahdollisuuden. Suurinta lehtipuustoon ja sen uudistumiseen vaikuttava laidunnuspaine on talvisaikaan (hirvestä ks. Puntila 2005, s. 226). Valkohäntäpeuran tiheimmät talvikannat ovat maan etelä- ja lounaisosissa (ks. kuva 8, Kukko ja Pusenius 2018a), siis alueella, joka on myös kaikkien uhanalaisten ja silmälläpidettävien lehtoluontotyyppien esiintymisen ydin- aluetta (ks. lehtoluontotyyppien esiintymisaluekartat, Kouki ym. 2018a).

3.9.4.5.

Hyönteiset

Globaalisti monet hyönteislajit ovat metsätalouden kannalta merkittäviä tuholaisia, mutta niillä voi olla myös suurta ekologista merkitystä metsäekosysteemeissä. Monet lajit pystyvät syömään puiden lehvästöt paljaaksi laajoilta alueilta tai muuten aiheuttamaan mittavaa puuston kuolleisuutta. Tätä kautta ne pystyvät aiheuttamaan häiriötä ekosysteemien toiminnassa ja vaikuttamaan moniin muihin metsälajeihin, ja lisäksi vieraslajituholaiset voivat syrjäyttää kotoperäistä lajistoa (Lehmann ym. 2018).

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa monien kasvinsyöjä- eli herbivorihyönteisten levinneisyysalueiden muutoksiin, ja ilmastonmuutoksen myötä monet puiden lehvästösyöjälajit voivat levittäytyä pohjoisemmaksi. Pöyry (2018) laati Tapio Oy:lle selvityksen potentiaalisten metsätuholaisperhosten kantojen muutoksista Suomessa 1993–2016 valtakunnallisen yöperhosseurannan aineistojen pohjalta (Pöyry 2018). Tarkasteluun valittiin seitsemän lajia, joista lehtipuita syöviä lajeja oli neljä (ruska-, tunturi-, halla- ja lumimittari) ja mäntyä tai havupuita syöviä lajeja oli kolme (mäntymittari, havununna ja mänty-yökkönen). Ruskamittarin (*Agriopis aurantiaria*) kanta pysyi tarkastelujaksolla vakaana, kun taas suurista kannanvaihteluista tunnetun tunturimittarin (*Epirrita autumnata*) kannat vaihtelivat voimakkaasti pohjoisboreaalisella vyöhykkeellä, mutta lajin kannan koossa ei kuitenkaan havaittu selvää laskevaa tai nousevaa trendiä. Etelämpänä tunturimittarin kannankoko vaihteli vähemmän ja siinä havaittiin lievä laskeva trendi. Hallamittarin (*Operophtera brumata*) kanta puolestaan oli suurimmillaan seurannan alkuvuosina, ja on sen jälkeen pienentynyt selvästi. Lumimittarin (*Operophtera fagata*) kanta on niin ikään laskenut seurannan aikana. Mäntymittarin (*Bupalus piniarius*) kanta on vaihdellut suuresti, ja lajin kannan koko on ollut lievässä nousussa. Havununnalla (*Lymantria monacha*) havaittiin voimakas kannan kasvu etenkin 2000-luvulta alkaen, ja runsaimmillaan kanta on ollut jopa yli 100-kertainen seurannan alkuvuosien tilanteeseen nähden. Mänty-yökköskannat (*Panolis flammea*) ovat vaihdelleet suuresti vuosien välillä, mutta kokonaisrunsaudessa ei seuranta-aineistossa havaittu trendiä. (Pöyry 2018.) Toistaiseksi potentiaalisista metsäpuiden tuholaislajeista siis vain mäntymittarilla ja havununnalla on havaittu tilastollisesti merkitsevä kannan kasvu, ja erityisesti havununnan huomattavan runsastumisen vuoksi ainakin Etelä-Suomessa voi olla odotettavissa vähintään paikallisia tuhoja mänty- ja kuusimetsissä (Neuvonen ym. 2018; Pöyry 2018). Myös havununnan lähisukulainen lehtinunna levinnee Suomeen ilmaston lämmitessä (Vanhanen ym. 2007).

Pohjoisimmassa Suomessa tunturimittarin massaesiintymiset noin 10 vuoden välein ovat vaikuttaneet suuresti tunturikoivikoihin, ja nyttemmin muuttuneissa olosuhteissa myös hallamittarituhot ovat lisääntyneet tunturikoivikoissa (Virtanen ym. 1998; Neuvonen ym. 1999; 2005; Virtanen & Neuvonen 1999; Ammunet ym. 2010; 2012; Neuvonen & Virtanen 2015). Pohjois-Norjan puolella hallamittarin lisäksi myös ruskamittari on aiheuttanut tuhoja rannikolla (Jepsen ym. 2008; 2011). Männiköissä ilmaston lämpeneminen lisäänee myös mäntypistiäisten aiheuttamia tuhoja. Mäntypistiäistuhojen todennäköisyys on suurempi karuissa kuin rehevämmissä metsissä (Nevalainen ym. 2015). Ruskomäntypistiäinen talvehtii munana oksistossa, mutta munat kuolevat, jos keskitalvella lämpötila on alle -36 astetta. Täten lämpenevät talvet saattavat lisätä lajien aiheuttamia männyn neulastuhoja alueilla, joissa talvilämpötilat nousevat (Itä- ja Pohjois-Suomi) (Virtanen ym. 1996). Talvien lämpeneminen saattaa vaikuttaa positiivisesti yleisemminkin munana talvehtiviin defolioiviin kasvissyöjähyönteisiin, ja näiden aiheuttamat laajat lehvästötuhot voivat yleistyä talvien lämmitessä (Virtanen ym. 1998; Neuvonen ym. 1999; Niemelä ym. 2001).

Euroopan kuusimetsien laajimmat tuhot aiheuttaa kirjanpainaaja, heikentyneiden kuusten nilaa syövä kaarnakuoriaislaji. Kyseinen laji on aiheuttanut vakavia metsätuhoja Etelä- ja Keski-Euroopassa (Grégoire & Evans 2004; Økland ym. 2012), etenkin

alueilla, joilla kuusta on viljelty kuusen luontaisen levinneisyysalueen ulkopuolella (Marini ym. 2012; Lehmann ym. 2018; Hlásny ym. 2019). Ilmaston lämpeneminen ja kuivuuskausien yleistyminen sekä tuulenkaatojen lisääntyminen tarjoaa lajille uusia sopivia lisääntymispaikkoja. Ennusteiden mukaan kirjanpainajan massaesiintymiset tulevatkin lisääntymään myös Pohjois-Euroopassa (Økland & Bjørnstad 2006; Marini ym. 2012; 2017; Netherer ym. 2015). Kuivuusstressi heikentää kuusia ja puiden pihka-puolustusta (Netherer ym. 2015), ja tällaisissa sopivissa olosuhteissa kirjanpainajat pystyvät lisääntymään heikentyneissä puissa myös silloin kun lajin kanta on pieni. Kun kanta on suuri, kirjanpainajat pystyvät sääoloiltaan otollisina vuosina murta-maan myös elävien puiden pihkapuolustuksen ja lisääntymään niissäkin (Hlásny ym. 2019). Lisäksi lämpenevät kesät mahdollistavat sen, että kirjanpainajan paikalliset populaatiot voivat tehdä yhä useammin toisen sukupolven. Tämän ennustetaan johtavan siihen, että alue, jolla kirjanpainajalla on kaksi sukupolvea saman kesän aikana, laajenee pohjoisemmaksi, mikä voi edelleen lisätä puuston kuolleisuutta (Lange ym. 2006; Jönsson ym. 2009; 2011; Pouttu ja Annila 2010). Kirjanpainaja ei ole ennen 2010-lukua aiheuttanut laajoja metsätuhoja Suomessa, mutta 2010-luvun kuivien kesien ja pitkien hellejaksojen jälkeen tuhojen määrä on kasvanut huomattavasti (Komonen ym. 2011; Heino ja Pouttu 2013; Neuvonen ym. 2014; 2015; 2016; 2017; Siitonen ja Pouttu 2014; Neuvonen ja Viiri 2018). On kuitenkin huomattava, että metsätuholaistatuksensa lisäksi kirjanpainaja on luontaisella levinneisyysalueellaan myös havumetsävyöhykkeen monimuotoisuuden kannalta merkittävä avainlaji, jonka seuralaisena elää 140 muuta selkärangatonta eläinlajia (Weslien 1992) ja jonka massaesiintymiset voivat nopeasti lisätä muullekin metsälajistolle elintärkeän kuolleen puun määrää metsissä (Hlásny ym. 2019).

Kusiaiset lehvästötuhojen torjujina

Muurahaiset ovat ekologisesti ja toiminnallisesti keskeisiä lajeja useimmissa maaekosysteemeissä lukuun ottamatta arktisia alueita. Niiden vaikutus muun ekosysteemin toimintaan on usein erittäin suuri. Hyvä esimerkki on temperaattisen ja boreaalisen Euraasian havumetsien ekologiset avainlajit, kusiaiset eli kekomuurahaisryhmän lajit (Formica s. str.). Kusiaiset lypsävät pääravinnokseen suuret määrät kirvojen sokeripitoista ulostetta – ns. kirvahunajaa – puiden latvustoissa puiden nilanesteitä imevistä kirvoista. Yksi yksilömäärältään suuri kusiaiskolonia voi kerätä satoja kiloja kirvojen sokeripitoista ulostetta kasvukauden aikana. Lisäksi kusiaiset käyttävät monenlaista kasvimateriaalia pesänrakennukseen sekä valtavat määrät selkärangattomia eläimiä sekä selkärangaisraatoja ravinnokseen kasvukauden aikana. Niiden suuri vaikutus ulottuu kaikkiin kasvillisuuskerroksiin metsän pohjalta suurten puiden latvustoihin.

Kusiaisilla on suuri vaikutus myös metsätaloudellisesti haitallisten lehvästötuholaisten aiheuttamien tuhojen torjunnassa: yksittäinenkin kusiaiskolonia voi saalistaa ravinnokseen jopa miljoonia hyönteistoukkia kasvukauden aikana. Kaikki nämä ekosysteemivaikutukset moninkertaistuvat monipesäisten kolonioiden kohdalla. Suomen metsissä ehdoton valtakusialaji, pohjankusialainen (Formica aquilonia), on juuri tällainen monipesäisiä kolonioita muodostava laji. Pohjankusialaisenkoloniaverkosto voi kattaa neliökilometrejä, mikäli sen levittäytymiselle ei ole esteitä. Tällä on potentiaalisesti valtava merkitys eteläisten lehvästötuholaisten kuten havununnan levittäytyessä pohjoisemmaksi ilmaston lämmitessä. Suomessa kusiaisten pesätiheys on jopa 100-kertainen Keski-Euroopan tiheyksiin nähden. Tätä on pidetty yhtenä syynä siihen, ettei meillä ole ilmennyt laajamittaisia lehvästötuhoja (ks. esim. Rosengren ym. 1979; Kilpeläinen ym. 2005; Punttila ja Kilpeläinen 2009; Sondej ym. 2018, ja viitteet näissä). Siten kusiaisten korkea tiheys metsissämme saattaa estää tai vähentää havununnan ja muiden ilmastomuutoksesta hyötyvien lehvästöhervivorien aiheuttamia metsätuhoja, kuitenkin sillä edellytyksellä, että ilmastomuutos ei osoittaudu haitalliseksi kusiaisten itsensä kannalta.

Yhteenveto ja johtopäätökset ilmastonmuutoksen vaikutuksista luontotyypeihin

Kaisu Aapala, Sonja Forss, Eija Kemppainen, Tuija Mattsson, Pekka Punttila, Juha Pykälä & Minna Turunen

Ilmastonmuutoksen vaikutus luontotyypeihin on monimutkainen kokonaisuus ja usein yhteisvaikutteinen maankäytön muutosten kanssa. Ilmastonmuutokseen ja sen vaikutuksiin liittyy vielä paljon epävarmuutta sekä muutoksen ajoittumisen, suuruuden, suunnan että nopeuden suhteen. Lisäksi erilaiset takaisinkytkennät ja toisiaan seuraavat vaikutukset voivat tuottaa monimutkaisia vaikutusmekanismien ketjuja. Kaikesta epävarmuudesta huolimatta ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutukset luontotyypeihin on syytä ottaa huomioon, sillä nämä vaikutukset kohdistuvat myös luonnontilaisiin ekosysteemeihin, jotka ovat tähän asti säilyneet voimakkaimpien muutosten ulkopuolella.

Pääsääntöisesti elinympäristöjen päätason jakautuminen säilyy todennäköisesti pitkälti samanlaisena muuttuvassakin ilmastossa: maa-, kosteikko- ja vesiekosysteemit säilyvät maa-, kosteikko- ja vesiekosysteeminä. Jonkin verran siirtymää voi tapahtua ekosysteemien vaihtumisvyöhykkeillä, esimerkiksi vettymisen tai kuivumisen seurauksena. Siitä, nopeuttaako tai hidastaako ilmastonmuutos mahdollisesti näiden vaihtumisvyöhykkeiden luontaista kehitystä, ei ole tutkimustietoa.

Jonkin verran siirtymiä luontotyyppistä toiseen (*ecosystem shifts*) tulee Suomessakin todennäköisesti tapahtumaan, joko pelkästään ilmastonmuutoksen seurauksena tai sen vuoksi, että ilmastonmuutos voimistaa jo meneillään olevaa kehitystä. Yksi esimerkki on erilaisten avoimien ja puoliavoimien luontotyyppien, kuten kallioiden, perinnebiotooppien, rannikon luontotyyppien, tunturikankaiden tai lettojen ja pienialaisten nevojen umpeenkasvu kohoavan ilmakehän lämpötilan ja CO₂-pitoisuuden seurauksena. Ehkä laaja-alaisinta siirtyminen luontotyyppistä toiseen tulee olemaan tuntureiden lumi- ja routavaikutteisilla luontotyypeillä ja metsänrajalla. Laaja-alaisia muutoksia tunturiluonnossa on jo tapahtunut tunturi- ja hallamittarituhojen seurauksena, ja ilmastonmuutos voi edelleen vahvistaa näitä. Potentiaalisesti laaja-alaisia ekosysteemien siirtymiä, joita ilmastonmuutos voi kiihdyttää, on eteläisten aapasoiden karuuntuminen keidassoiksi. Pienessä mittakaavassa myös palsan sulaminen voidaan tulkita luontotyypin siirtymäksi, kun kuiva, varpuvaltainen palsa sulaa ja muuttuu avovetiseksi termokarstiallikoksi.

Ilmastonmuutokselle herkimpiä luontotyypejä ovat nykytiedon perusteella: rannikon hauru- ja meriajokasvallit ja primäärisuknessioon liittyvät luontotyypit, virtavesien latvapurot, Tunturi-Lapin pienvedet, Lounais-Suomen savialueiden virtavedet ja rannat sekä runsasravinteiset järvet, karut ja kirkasvetiset järvet, perinnebiotoopit, tuntureiden lumenpysymät ja -viipymät, tunturikoivikot, tunturikankaat, palsat, eteläiset aapasuot, lähteet ja lähdesuot, avoimet ja puoliavoimet kalliotyypit sekä karut kangasmetsät. Monilla herkimpiä tunnistetuista luontotyypeistä herkkyyden syyt – Itämeren suolapitoisuuden aleneminen, merenpinnan nousu, lumen ja jään sulaminen, pohjaveden lämpeneminen – ovat sellaisia, joihin ei voida vaikuttaa muutoin kuin hillitsemällä ilmastonmuutosta. Osalla herkimmistä luontotyypeistä sen sijaan voidaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia, esimerkiksi umpeenkasvua tai rehevöitymistä, pyrkiä hillitsemään hoitotoimin. Nykytiedon perusteella on todennäköisesti pystytty tunnistamaan vasta kaikkein ilmeisimmin ilmastonmuutoksesta kärsivät luontotyypit.

Ilmastonmuutos voi voimistaa jo olevassa olevia maankäytön aiheuttamia muutoksia, kuten rehevöitymistä, kuivumista ja umpeenkasvua tai muista uhkatekijöistä ja elinympäristöjen pirstoutumisesta aiheutuvia luontotyyppiä heikentäviä

vaikutuksia (Aapala 2018). Ilmastomuutoksen vaikutuksia on tutkittu ensisijaisesti mahdollisimman luonnontilaisissa ympäristöissä, jotta voitaisiin paremmin erottaa pelkästään ilmastomuutoksen vaikutus. Tutkimuksia, joissa on tarkasteltu maankäytön ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutuksia, on tehty kohtalaisesti, mutta usein niissä ei ole tarkkaan arvioitu nimenomaan näiden kahden muutostekijän yhteisvaikutusta (Oliver & Morecroft 2014). Näkökulma on kuitenkin tärkeä, sillä valtaosa luontotyypeistä on tavalla tai toisella erilaisen maankäytön vaikutuspiirissä.

Ilmastomuutoksen on arvioitu vahvistavan esimerkiksi rehevöitymisen haitallisia vaikutuksia sisävesissä, ojituksen kuivatusvaikutuksia soilla, perinteisen maankäytön päättymisen aiheuttamaa umpeenkasvua perinnebiotoopeilla ja rannikolla sekä metsätalouden vaikutuksia kallioiden luontotyypeillä. Metsissä ilmastomuutoksen ennustetaan lisäävän erilaisia luontaisia häiriöitä, mikä voi mahdollisesti lieventää metsätalouden vaikutuksia muun muassa lisäämällä kuolleen puun sekä runsaslahopuustoisten nuorten sukkessiovaiheiden ja lehtipuiden määrää. Edellytyksenä kuitenkin on, että näiden määrää ei vähennetä esimerkiksi energiapuun korjuun yhteydessä. Perusteellisimmin maankäytön ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutuksia on tarkasteltu tunturiluontotyypeillä (luku 3.6.4.5; Turunen ym. 2018). Eri maankäyttömuotojen, porolaidunnuksen, tuhohyönteisten, kasvitautilien ja vieraslajien yhteisvaikutukset ilmastomuutoksen kanssa voivat voimistaa ja nopeuttaa tunturiluontotyyppien muutoksia. Esimerkiksi tunturikoivikoissa voimakas porolaidunnus voimistaa ilmastomuutoksen negatiivisia vaikutuksia, ja tekijöiden yhteisvaikutus on merkittävä. Tunturikoivikon elpymisen mittarituhuista on hidastunut erityisesti poron kesälaidunalueilla. Tunturikankailla ilmastomuutoksen ja laidunnuksen yhteisvaikutuksen uhka on vähäisempi kuin edellä mainitut uhkat erikseen. Laidunnus estää tunturikankaiden umpeenkasvua ja pensoittumista, mutta ei samalla tavalla estä havupuiden leviämistä. Tunturikangaspajukoissa ilmastomuutos ja laidunnus tasapainottavat toistensa vaikutuksia. Kesälaidunnus estää pajukoiden laajentumista ja koivun leviämistä.

Ilmastomuutos voi tuoda mukanaan myös täysin uudenlaisia tilanteita, kun lajit reagoivat yksilöllisesti muuttuvaan ilmastoon ja muuttuviin kilpailuolosuhteisiin. Kokonaiset eliöyhteisöt eivät sellaisenaan siirry, vaan ne muuttuvat tuntemattomalla tavalla, kun joillekin lajeille suotuisat ilmasto-olosuhteet siirtyvät satoja kilometrejä pohjoiseen päin, ja toisille lajeille tällaista siirtymää ei tapahdu. Esimerkiksi Keski-Eurooppalaiset lehtimetsät eivät siirry meille sellaisinaan, vaikka ilmasto-olosuhteet meillä muuttuisivatkin niille suotuisiksi.

Uudenlaisia muutoksia tuonee myös talviolosuhteiden muutos, joka voi aiheuttaa luontotyypeissä vaikeasti ennakoitavia muutoksia. Suomen ilmaston ennustetaan muuttuvan enemmän talvella kuin kesällä. Ennusteiden mukaan sateet tulevat yhä useammin talvellakin vetenä, lumipeiteaika lyhenee ja routaa on nykyistä vähemmän (Jylhä ym. 2012). Itämerellä jääpeite supistuu ja ohenee (Luomaranta ym. 2010). Talvi on tärkeä monien luontotyyppien rakenteeseen ja toimintaan vaikuttava tekijä. Rannikolla jääeroosio hidastaa ja estää rantojen umpeenkasvua. Myös sisävesillä jääeroosio sekä jäätymisen ja sulamisen vaihtelu vaikuttavat erityisesti virtavesien ja niiden rantojen eliöyhteisöihin. Talviolosuhteet vaikuttavat myös kevättulvien määrään, millä puolestaan on vaikutusta sekä virtavesiin että minerotrofisiin soihin. Tuntureilla lumi, routa, jää ja pakkanen muovaavat luontotyyppejä.

Ilmastomuutoksen vaikutukset luontotyyppeihin ovat nykytiedon perusteella ensisijassa laadullisia. Ilmastomuutoksen vaikutusmekanismit eri luontotyyppiryhmissä vaihtelevat jonkin verran, mutta kaikissa ryhmissä muutokset ilman lämpötilassa ja sateiden määrässä, olomuodossa ja vuodenaikaisuudessa ovat keskeisiä. Rannikolla ilmastomuutoksen vaikutukset realisoituvat lisäksi merenpinnan nousun, Itämeren altaan suolapitoisuuden laskun ja jääolosuhteissa tapahtuvien muutosten kautta. Sisävesillä valunnan ja virtaaman määrällinen ja vuodenaikaisuuden muutos,

veden lämpötilan nousu ja jääolosuhteiden muutokset vaikuttavat luontotyyppeihin. Perinnebiotoopeilla tärkeimpiä muutostekijöitä ovat lämpötilan nousu, sademäärä sekä ilmakehän CO₂-pitoisuuden nousu. Tuntureilla routajakson lyhentyminen, kasvukauden pidentyminen, lämpötilan nousu, sateisuuden muutokset, äärevien sääolojen lisääntyminen ja muutokset talviolosuhteissa vaikuttavat eri tavoin luontotyyppeihin. Soilla puolestaan keskeistä on se, millä tavalla ilmastonmuutos vaikuttaa eri tekijöiden kautta soiden vedenpinnan tasoon. Kallioluontotyypeillä lämpötila, sade ja ilmakehän CO₂-pitoisuuden nousu ovat tärkeitä muutostekijöitä. Kalliot voivat myös toimia pienilmastollisina refugioina. Metsissä ilmastonmuutoksen vaikutusmekanismeista tärkein on luontaisten häiriöiden lisääntyminen ja sen vaikutukset metsien rakenteeseen.

Luontotyyppiesiintymiä voi myös hävitä ilmastonmuutoksen seurauksena. Selkeimpinä esimerkkeinä nousevat tuntureiden lumenpysymät ja -viipymät sekä pohjoisen palsat, jotka voivat luontotyyppinä kadota kokonaan ennen pitkää. Myös rannikon luontotyypeillä on vain vähän sopeutumiskeinoja merenpinnan nousuun ja Itämeren suolapitoisuuden laskuun. Sisämaahan päin siirtymistä rajoittaa yleensä intensiivinen maankäyttö tai muutoin epäsoveltavat olosuhteet, ja pohjoiseen siirtymistä rajoittaa Itämeren suolapitoisuuden lasku ja rannikon päättymisen Perämerelle.

Ilmastonmuutoksen ennakoita lisäävän monia sään ääri-ilmiöitä, kuten voimakkaita sateita, poikkeuksellisen kovia tuulia, kuivuutta ja kuumuutta. Sen sijaan poikkeuksellista kylmyyttä ilmastonmuutos ei todennäköisesti tule lisäämään, joskin kevättalven pakkasjaksojen ja nollakelin voimistuva vaihtelu voi vaikuttaa ainakin tunturien ja sisävesien luontotyyppeihin. Ilmastonmuutoksen vaikutustarkasteluissa on keskitytty pääsääntöisesti siihen, miten lajit ja ekosysteemit sopeutuvat keskimääräisiin, pitkän aikavälin muutoksiin ilmastossa (Maxwell ym. 2018). Sään ääri-ilmiöillä voi kuitenkin olla huomattavaa vaikutusta lajeihin ja luontotyyppeihin (Ummenhofer & Meehl 2016; Maxwell ym. 2018). Sään ääri-ilmiöiden vaikutusta metsien häiriödynamiikkaan on tarkasteltu perusteellisesti luvussa 3.9.4.



Kuva: Kaisu Aapala

4 Johtopäätökset

Sirke Piirainen, Juha Pöyry & Kaisu Aapala

4.1.

Suomen suojelualueverkosto ja sen kehittäminen lajien ja luontotyyppien suojelemiseksi

Suomen suojelualueverkoston painopiste on pohjoisessa (Tuomenvirta ym. 2018; Luonnonvarakeskus 2019), jonne esimerkiksi monen hyönteis- ja lintulajin esiintymisalue on siirtymässä. Eteläisemmässä Suomessa pienet, usein harvakseltaan esiintyvät suojelualueet eivät riitä suojelemaan lajeja ja auttamaan niitä leviämään uusiin suotuisiin elinympäristöihin. Eteläisten lajien siirtyminen esimerkiksi Keski-Suomen luonnonsuojelualueille voi olla vaikeaa, sillä Keski-Suomessakin suojelualueita on harvassa, ja ne ovat kovin pieniä. Pohjoisen laajoilla suojelualueilla olisi tilaa uusillekin etelästä levittäytyville lajeille. Riskinä kuitenkin on pohjoisten lajien häviäminen, jos eteläisten lajien aiheuttama kilpailu kasvaa (erityisesti putkilokasvit ja selkärangaiset lajit) tai ilmasto muuttuu sopimattomaksi pohjoisille lajeille.

Suojelualueverkoston laajuus kussakin elinympäristössä ja ilmastovyöhykkeessä on keskeinen tekijä sopeutumisessa ilmastonmuutokseen. Suomi on sitoutunut kansainvälisen biodiversiteettisopimuksen (CBD) tavoitteisiin (*Aichi Targets*), joista Aichi-tavoitteen 11 mukaan kunkin maan tulisi suojella vähintään 17 % maa-alueistaan, erityisesti biodiversiteetiltään tärkeitä alueita. Suomi onkin saavuttanut nämä tavoitteet, jos huomioidaan lakisääteiset suojelu- ja erämaa-alueet sekä Natura 2000-alueet, joiden pinta-ala on 13,8 % Suomen maa-alasta ja 14,3 % koko pinta-alasta (Ympäristöministeriö 2019). Kun lisäksi huomioidaan luonnonsuojelulain 29 §:n luontotyyppikohteet, metsälain 10 §:n kohteet ja muut käytöltään rajoitetut kohteet, niin suojeltujen alueiden kokonaispinta-ala kohoaa tavoitteena olevaan 17 %:iin. Tästä huolimatta maan etelä- ja pohjoisosien suojelutaso eroaa yhä merkittävästi toisistaan, ja esimerkiksi metsämaasta on lakisääteisesti suojeltu Etelä-Suomessa vain 3,6 % ja Pohjois-Suomessa 10,4 % sisältäen luonnonsuojelualueet ja erämaa-alueet (Luonnonvarakeskus 2019).

Lajien levinneisyysalueiden tulisi siirtyä yhä pohjoisemmaksi tai korkeammalle vuoristoissa ilmastonmuutoksen tahdissa tai lyhyellä viiveellä uusia suotuisia ilmastovyöhykkeitä mukaillen. Tämä tahti saattaa kuitenkin olla monille lajeille liian nopea. Heikoimminkin levittäytyvät lajit pystyvät siirtymään ajan kanssa uusille alueille, kunhan suotuisia elinympäristöjä esiintyy tarpeeksi lähellä toisiaan eikä suuria levittäytymisesteitä ole tai synny. Suojelualueiden määrään ja kytkeytyvyyteen tulee ilmastomuutoksen myötä kiinnittää yhä suurempaa huomiota. Tarvitsemme lisää tietoa siitä, miten nykyinen suojelualueverkosto toimii lajien levinneen ja sopivien elinympäristöjen kytkeytyvyyden ylläpitäjänä.

Kolikolla on toinenkin puoli, sillä pohjoisen lajeja usein uhkaa nimenomaan etelästä levittäytyvä uusi lajisto, joka voi olla kilpailukykyisempää uusissa lämpimämmän

ilmaston olosuhteissa. Siten lajien häviämiskasvun vähentämisessä voi olla tarpeen pyrkiä estämään tai ainakin hidastamaan joidenkin lajien leviämistä pohjoiseen, kuten jo nyt tehdään, kun yritetään estää kettukannan kasvua naalin elinalueilla.

Myös suojelualueiden ulkopuoliset alueet tulee hyödyntää tehokkaammin lajien ja luontotyyppien suojelussa sekä lajien levittäytymisväylinä (esim. Kotiaho ym. 2019). Esimerkiksi talousmetsien luonnonhoidon ja monimuotoisuutta edistävien hakkuumenetelmien kehittämistarpeet tulisi arvioida ilmastonmuutokseen varautumisen ja sopeutumisen näkökulmasta. Samaan aikaan suojelualueverkoston laajentamisen ja laadun parantamisen (esimerkiksi ennallistamisen keinoin) rinnalla tulisi panostaa myös suojelualueiden välisen talousmetsämaiseman laadun – läpäisevyyden (*permeability*) – parantamiseen. Metsälajiston kohdalla esimerkiksi lisäämällä jatkuvaiteisen metsänkasvatuksen osuutta avohakkuihin perustuvan metsänhoidon asemesta voitaisiin tukea peitteistä metsää vaativien lajien siirtymismahdollisuuksia ilmaston muuttuessa (Hjältén ym. 2017, Peura ym. 2018). Uhanalaistuneelle metsälajistolle kaikkein tärkeimpien rakennepiirteiden – sekä vanhojen elävien puiden että kuolleiden puiden – määrää pystyttäisiin kasvattamaan huomattavasti jättämällä talousmetsien erilaiset arvokkaat luontokohteet kokonaan metsätaloustoiminnan ulkopuolelle (Korhonen ym. 2016). Tämänlaisia luontokohteita ovat esimerkiksi metsälain määrittelemät erityisen tärkeät elinympäristöt ja lukuisat erityyppiset metsänhoitosuosituksissa luetellut muut arvokkaat luontokohteet. Tällaiset kohteet erottuvat ympäristöstään ja niistä löytyy metsäluonnon monimuotoisuudelle tärkeiden pysyvien ja muuttuvien ominaisuuksien yhdistelmiä, kuten äärevyyttä vesitaloudessa, rehevyydessä tai topografiassa, lahoavaa puuta, kenttä- ja pensaskerroksen sekä puuston rakenteellista monimuotoisuutta, vanhoja puuyksilöitä, hiiltynyttä puuta, jaloja lehtipuita tai järeitä haapoja. Huomionarvoisen luontokohteen minimipinta-ala on yksi aari (Suomen metsäkeskus 2017).

Kuolleen puun määrää talousmetsissä olisi mahdollista kasvattaa huomattavasti, jos kaikissa hakkuissa pystyttäisiin välttämään olemassa olevan kuolleen puun tuhoutuminen ja erityisesti jos hakkuissa pidättäydettäisiin kokonaan kuolleen puun korjuusta energiapuuksi ja haketettavaksi lämpö- ja voimalaitosten polttoaineeksi (Korhonen ym. 2016). Ilmastonmuutoksen ennustetaan lisäävän erilaisia luontaisia häiriöitä, mikä voi lisätä kuolleen puun sekä runsaslahopuustoisten nuorten suksiosiovaiheiden ja lehtipuiden määrää metsissä, mikäli noudatetaan edellä mainittuja periaatteita. Laajemmalle kokonaistarkastelulle, jossa käydään läpi ennallistamisen ja aluesuojelun ilmastolliset hyödyt ja haitat talouskäytön rinnalla, on selvästi tarvetta.

4.2.

Tutkimustarpeet

Suomen luonnonsuojeluverkostoa kehitettäessä tarvitaan soveltavia tutkimuksia sekä suojelualueverkoston toimivuudesta että lajien liikkumis- ja lisääntymismahdollisuuksia suojelualueiden ulkopuolella lisäävistä luonnonhoidollisista toimista. Nämä tutkimukset olisi hyvä tehdä aiempaa laajemmalla lajijoukolla, eli muillakin eliöryhmillä kuin linnuilla ja perhosilla. Lisäksi olisi syytä tutkia aiemmin tunnistettujen sopeutumiskeinojen toimivuutta sekä mallintamalla että empiirisesti käyttämällä esimerkitapauksina biologialtaan paremmin tunnettujen lajiryhmien lajeja. Sekä suojelualueilla että niiden ulkopuolella toteutettavien luonnonhoitotoimien, joiden tavoitteena on ilmastonmuutoksen vaikutusten hidastaminen, vaikutuksesta eri luontotyyppeihin ja lajiryhmiin tarvittaisiin lisätietoa käytännön toimien tueksi.

Lajiominaisuuksien ja ilmastonmuutoksen välisen suhteen tutkiminen onnistuu luotettavimmin eliöryhmillä, joista on tarpeeksi ekologista tietoa ja havaintoaineistoa esimerkiksi säännöllisten seurantojen ansiosta. Niinpä paljon tutkituilla linnuilla

ja perhosilla muutokset ovat selkeämmin dokumentoitavissa ja muutosten mekanismeille on tarjolla useampia tutkittuja selityksiä kuin esimerkiksi lahoppuueliöillä tai jäkälillä. Muutosten yksittäisten mekanismien tunteminenkaan ei kuitenkaan vielä ratkaise ennustettavuuden ongelmaa. Jotta lajien levinneisyysmuutoksia voitaisiin ennustaa, tarkastelussa tulisi olla mukana kaikki keskeiset muutostekijät ja niiden suhteellista merkitystä tulisi selvittää. Tässä työssä tehtyä lajiominaisuuksiin perustuvaa analyysiä voikin siten syventää tarkempien lajien haavoittuvuusanalyysien avulla, joissa seuraavina vaiheina tulisivat sekä korrelatiiviset että mekanistiset mallinnukset (Wheatley ym. 2017; Foden ym. 2019). Nämä vaativat kuitenkin aineistoa pitkiltä ajanjaksoilta, eikä sellaista aineistoa useinkaan ole saatavilla. Tästä syystä tutkimus onkin edelleen painottunut vain harvoihin eliöryhmiin, lähinnä juuri lintuihin ja perhosiin, minkä johdosta esimerkiksi putkilokasvien ja monien hyönteisryhmien levinneisyysalueiden tulevaisuuden muutosten mekanistinen mallinnus on vaikeaa. Jotta ilmastonmuutoksen vaikutukset pystyttäisiin havaitsemaan ja ennustamaan, tarvitaan kiireellisesti uusia biodiversiteettiseurantoja ekologisesti tärkeistä eliöryhmistä. Esimerkiksi valtaosaa ravintoverkkojen pohjan muodostavien putkilokasvien kannoista ei Suomessa seurata lainkaan, ei myöskään hyönteissyöjälinnuille keskeisen ravintolähteen, kaksisiipisten, yksilömäärien ja biomassan muutoksia. Seuranta-aineistoa luonnon monimuotoisuuden muutoksista sekä taksonomisesti että ekologisesti kattavasti tarvitaan siis lisää, ja sen laatuun ja saatavuuteen pitää kiinnittää huomiota. Lajien haavoittuvuusarviointia pitää myös kehittää edelleen, eritoten huomioimaan paremmin ilmaston vaihtelu ja sen ääripäät sekä ihmistointa, joka muuttuu sopeutuessaan ilmastonmuutokseen.

Tutkimustietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista luontotyyppeihin on jo jonkin verran, mutta lisätutkimukselle on selvä tarve. Lisää tutkimusta tarvitaan erityisesti ilmastonmuutokselle herkimpien luontotyyppien ja niillä esiintyvien lajien sopeutumisesta muuttuviin olosuhteisiin sekä monimuotoisuuden säilymisen turvaamiseksi tarvittavista toimista. Luontotyyppien altistumisesta, herkkyydestä ja sopeutumiskyvystä ilmastonmuutokselle tiedetään vielä melko vähän. Luontotyyppien haavoittuvuusanalyysi asiantuntijatietoon tukeutuen voisi kuitenkin tuottaa systemaattisen, yhtenäisiin kriteereihin perustuvan arvion Suomen luontotyyppien herkkyydestä ilmastonmuutokselle. Tieto tukisi esimerkiksi suojelualuesuunnittelua sekä ennallistamis- ja luonnonhoitotoimenpiteiden kohdentamista.

Maankäytön ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusten tarkastelu on tärkeä näkökulma Suomen muuttuneessa luonnossa. Tuntureilla tarvitaan tutkimusta porolaidunnuksen, hyönteistuhojen ja ilmaston lämpenemisen yhteisvaikutuksista maanpinnan heijastuskykyyn ja ilmastonmuutoksen etenemiseen erilaisilla luontotyypeillä. Myös kaikissa muissa luontotyyppiryhmissä on tunnistettu tarve ilmastonmuutoksen ja maankäytön yhteisvaikutusten tarkempaan tarkasteluun.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia luontotyyppiin tulisi tarkastella samanaikaisesti sille keskeisten tai tyypillisten avainlajien, erityisesti kasvilajien, kanssa. Ylipäätään lajistomuutosten vaikutuksista luontotyyppeihin olisi tarpeen saada lisätietoa. Lisää tietoa tarvittaisiin myös boreaalisen vyöhykkeen pienilmastollisista refugioista niiden tunnistamiseksi ja paikantamiseksi.

Talven merkitys luontotyypeille on aiemmin jäänyt vähemmälle huomiolle, tuntureita ja palsasoita lukuun ottamatta, mutta ennustetut muutokset talvi-ilmastoon ovat niin suuria, että niiden vaikutusta luontotyyppeihin olisi tarpeen arvioida tarkemmin. Esimerkiksi rannikolla tarvitaan tietoa jääpeitteisen ajan pituudessa ja jääeroosiossa mahdollisesti tapahtuvista muutoksista ja niiden merkityksestä rannikon luontotyypeille. Myös virtavesissä muutokset jäädynamiikassa voivat vaikuttaa sekä uoman että rantojen eliöyhteisöihin. Muutokset talvisateiden määrässä ja olomuodossa vaikuttavat muun muassa kevättulvan ajoittumiseen ja määrään, mikä puolestaan voi vaikuttaa esimerkiksi tulvametsiin tai aapasoihin. Pitkät vesistöseuranta-aikasar-

jat, niiden pohjalta tehdyt ennusteet sekä tulvariskialueiden mallinnukset voisivat olla apuna myös arvioitaessa talvi-ilmaston muutosten vaikutuksia sisävesien tai soiden luontotyypeihin.

4.3.

Tulokas- ja vieraslajit

Ilmastonmuutoksen seurauksena Suomeen leviää etelästä uusia lajeja, joista osa voi olla luonnonsuojelullisesti arvokkaita uhanalaisia tulokaslajeja. Etelästä leviävät lajit päätyvät ainakin aluksi usein uhanalaisiksi pienen populaatiokokonsa perusteella. Hiljattain Suomeen levinneitä ja vakiintuneita, uhanalaisiksi arvioituja eteläisiä lajeja ovat mm. sitruunavästäräkki (*Motacilla citreola*, luokka EN), ruokosirkkalintu (*Luscinia luscinia*, luokka EN), viiksitimali (*Panurus biarmicus*, luokka VU) ja pussitiainen (*Remiz pendulinus*, luokka EN) (Tiainen ym. 2016).

Uusista leviävistä lajeista osa voi olla myös haitallisiksi luokiteltavia vieraslajeja, joiden alkuperä on Euroopan ulkopuolella ja joiden leviämistä on ennakoitava vahinkojen minimoimiseksi. Ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat näkymään Suomen vieraslajitilanteessa etupäässä kahdella tapaa: (1) meillä jo esiintyvien (mutta mahdollisesti vielä harvalukuisten) vieraslajien kantojen vahvistumisena, uusien elinkelpoisten populaatioiden syntymisenä, ja näiden lajien levittäytymisenä uusille alueille ja niiden haittavaikutusten voimistumisena, sekä (2) kokonaan uusien vieraslajien leviämisenä Suomeen (Heikkinen ym. 2012).

Vieraslajien torjuntatyössä on tärkeää pyrkiä tunnistamaan haitallisimmat Suomeen mahdollisesti leviävät uudet vieraslajit ja Suomessa jalansijaansa ja haittavaikutuksiaan todennäköisesti vahvistavat lajit. Suomessa tulisikin varautua esimerkiksi seuraavien lajien haittavaikutusten voimistumiseen: japanintatar (*Reynoutria japonica*), jättipalsami (*Impatiens glandulifera*), kanadanvesirutto (*Elodea canadensis*), kaukasianjättiputki (*Heracleum mantegazzianum*), kurtturuu (*Rosa rugosa*), kanadanhanhi (*Branta canadensis*), koloradonkuoriainen (*Leptinotarsa decemlineata*), vaeltajasimpukka (*Dreissena polymorpha*) ja espanjansiruetana (*Arion vulgaris*). Toisaalta tulee kiinnittää huomiota myös haitallisiin lajeihin, jotka esiintyvät meillä vielä satunnaisesti tai ei vielä lainkaan, kuten esimerkiksi kiiltotuomi (*Prunus serotina*), marunatuoksukki (*Ambrosia artemisiifolia*), piikkikurkku (*Echinocystis lobata*), härkäsammakko (*Lithobates catesbeianus*), kalifornianripsiaäinen (*Frankliniella occidentalis*), japaninkauris (*Cervus nippon*), kurkkukirva (*Aphis gossypii*), hollanninjalavatauti (*Ophiostoma ulmi*), rämemajava (*Myocastor cyopus*), mustakitatokko (*Neogobius melanostomus*) ja saharasbora (*Pseudorasbora parva*). Nämä lajit voivat levittäytyä Suomeen ilmaston lämpenemisen edelleen jatkuessa (Heikkinen ym. 2012).

Haitalliset vieraslajit on viime vuosina enenevästi huomioitu lainsäädännössä. Euroopan Unionin (EU) vieraslajiasetus astui voimaan 1.1.2015, laki vieraslajeista aiheutuvien riskien hallinnasta astui voimaan 1.1.2016 sekä asetus vieraslajeista aiheutuvien riskien hallinnasta 1.6.2019. Asetuksissa on lueteltu joukko sekä EU:n kannalta että kansallisesti merkityksellisiä vieraslajeja, joiden seurantaa ja torjuntaa edistetään uuden lainsäädännön avulla.

4.4.

Yhteenveto

Tarkastelun perusteella ilmastonmuutoksen negatiiviset vaikutukset korostuvat erityoten pohjoisen viileisiin oloihin, kuten tunturi- ja suoelinympäristöihin erikoistuneilla lajeilla, joiden levittäytymiskyky on rajoittunut. Eri eliöryhmillä nousi esille

myös muita lajien haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle heijastelevia ominaisuuksia, joita on tärkeää huomioida lajien hoito- ja suojelusuunnittelussa. Tämän tutkimuksen avulla olemme pystyneet lajien ominaisuuksia tarkastelemalla tunnistamaan joukon ilmastonmuutokselle haavoittuvimpia lajeja. Jatkossa näitä tuloksia voidaan hyödyntää päätettäessä suojelutoimien kohdentamisesta.

Luontotyyppien osalta on jatkossa tärkeää tunnistaa herkimmat luontotyypit ja erityisesti ne, joilla ilmastonmuutoksen vaikutuksia voidaan lieventää esimerkiksi hoito- tai ennallistamistoimin. Sekä suojelu- että hoitotoimien kohdentamisen kannalta on myös olennaista tunnistaa ne alueet Suomessa, joilla ilmastonmuutoksen vaikutus on todennäköisesti voimakkainta ja etenee nopeimmin. Myös tilanteet, joissa ilmastonmuutos voi voimistaa jo käynnissä olevaa heikentymiskehitystä, on tarpeen tunnistaa tarkemmin.

Ilmastonmuutokseen ja sen vaikutusten ennustamiseen liittyy aina olennaisesti useita epävarmuuksia, jotka tulee huomioida luonnonsuojelualueiden hoitotoimien suunnittelussa. Esimerkiksi siirtoistutusten tulokset voivat olla muuttuvassa ilmastossa epävarmoja, ja hoitotoimien suunnittelu ja toteutus suojelualueilla muuttuu haastavammaksi. Elinympäristöjen hoito- ja suojelutoimet muuttuvassa ilmastossa olisikin hyvä toteuttaa sopeutuen ilmastonmuutoksen vaikutuksiin (*adaptive management*) (Lawler ym. 2010; Groves ym. 2012). Tämä edellyttää säännöllisiä tarkistuksia hoitotoimien tuloksellisuudesta sekä tarvittaessa mahdollisia suunnanmuutoksia (Heller & Zavaleta 2009; Poiani ym. 2011). Sopeutuvien suojelu- ja hoitotoimien suunnittelu vaatisi nykyistä monipuolisempaa lajistonseurantaa, tai vähintäänkin olemassa olevien lintujen, perhosten ja riistalajien seurantojen ylläpitämistä ja vahvistamista. Systemaattisia seurantoja tulisi kuitenkin kehittää muidenkin eliöryhmien, kuten putkilokasvien, jäkälien ja lahopuulajien osalta. Seurantoja tulisi tehdä sekä suojelualueilla että suojelualueiden ulkopuolella, jotta maankäytön ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia voitaisiin tarkemmin arvioida.

Juuri käynnistynyt Helmi-elinympäristöohjelma (<https://www.ym.fi/helmi>) avaa uusia mahdollisuuksia sopeutuvien suojelu- ja hoitotoimien edistämiseksi Suomen suojelualueverkostossa. Olisikin tärkeää, että ilmastonmuutoksen näkökulma huomioidaan ohjelman kaikissa osahankkeissa. Myös suojelualueverkoston ulkopuolella on tarpeen jatkaa ja kehittää toimia, jotka vahvistavat lajien ja luontotyyppien todennäköisyyttä sopeutua ilmatonmuutoksen vaikutuksiin. Erityisesti toimet, jotka lisäävät eri elinympäristöjen kytkeytyvyyttä ovat hyödyllisiä ilmastonmuutoksen vaikutusten lieventämisessä.

Kirjallisuus

- Aakala, T. & Kuuluvainen, T. (2011) Summer droughts depress radial growth of *Picea abies* in pristine taiga of the Arkhangelsk province, northwestern Russia. *Dendrochronologia* 29: 67–75.
- Aakala, T., Hari, P., Dengel, S., Newberry, S.L., Mizunuma, T. & Grace, J. (2014) A prominent stepwise advance of the tree line in north-east Finland. *Journal of Ecology* 102: 1582–1591.
- Aakala, T., Pasanen, L., Helama, S., Vakkari, V., Drobyshev, I., Seppä, H., Kuuluvainen, T., Stivrins, N., Wallenius, T., Vasander, H. & Holmström, L. (2018) Multiscale variation in drought controlled historical forest fire activity in the boreal forests of eastern Fennoscandia. *Ecological Monographs* 88: 74–91.
- Aalto, J., Harrison, S. & Luoto, M. (2017) Statistical modelling predicts almost complete loss of major periglacial processes in Northern Europe by 2100. *Nature Communications* 8: 515.
- Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H. & Vajda, A. (2008) Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen ympäristö 31/2008: 1–123.
- Aapala, K. 2018. Ilmastonmuutoksen tarkastelu luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa. Julk.: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1 - tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018. S. 324–328.
- Aapala, K., Akujärvi, A., Heikkinen, R.K., Kuhmonen, A., Kuusela, S., Leikola, N., Mikkonen, N., Ojala, O., Punttila, P., Pöyry, J., Raunio, A., Syrjänen, K., Vihervaara, P. & Virkkala, R. (2017) Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa – esiselvitys. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 23/2017: 1–156.
- Abbott, B.W., Jones, J.B., Schuur, E.A.G., Chapin III, F.S., Bowden, W.B., Bret-Harte, M.S., Epstein, H.E., Flannigan, M.D., Harms, T.K., Hollingsworth, T.N., Mack, M.C., McGuire, A.D., Natali, S.M., Rocha, A.V., Tank, S.E., Turetsky, M.R., Vonk, J.E., Wickland, K.P., Aiken, G.R., Alexander, H.D., Amon, R.M.W., Benscoter, B.W., Bergeron, Y., Bishop, K., Blarquez, O., Bond-Lamberty, B., Breen, A.L., Buffam, I., Cai, Y.H., Carcaillet, C., Carey, S.K., Chen, J.M., Chen, H.Y.H., Christensen, T.R., Cooper, L.W., Cornelissen, J.H.C., de Groot, W.J., DeLuca, T.H., Dorrepaal, E., Fetcher, N., Finlay, J.C., Forbes, B.C., French, N.H.F., Gauthier, S., Girardin, M.P., Goetz, S.J., Goldammer, J.G., Gough, L., Grogan, P., Guo, L.D., Higuera, P.E., Hinzman, L., Hu, F.S., Hugelius, G., Jafarov, E.E., Jandt, R., Johnstone, J.F., Karlsson, J., Kasischke, E.S., Kattner, G., Kelly, R., Keuper, F., Kling, G.W., Kortelainen, P., Kouki, J., Kuhry, P., Laudon, H., Laurion, I., Macdonald, R.W., Mann, P.J., Martikainen, P.J., McClelland, J.W., Molau, U., Oberbauer, S.F., Olefeldt, D., Paré, D., Parisien, M.A., Payette, S., Peng, C.H., Pokrovsky, O.S., Rastetter, E.B., Raymond, P.A., Reynolds, M.K., Rein, G., Reynolds, J.F., Robards, M., Rogers, B.M., Schädel, C., Schaefer, K., Schmidt, I.K., Shvidenko, A., Sky, J., Spencer, R.G.M., Starr, G., Striegl, R.G., Teisserenc, R., Tranvik, L.J., Virtanen, T., Welker, J.M. & Zimov, S. (2016) Biomass offsets little or none of permafrost carbon release from soils, streams, and wildfire: an expert assessment. *Environmental Research Letters* 11: 034014.
- Adrian, R., O'Reilly, C.M., Zagarese, H., Baines, S.B., Hessen, D.O., Keller, W., Livingstone, D.M., Sommaruga, R., Straile, D., Van Donk, E., Weyhenmeyer, G.A. & Windler, M. (2009) Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography* 54: 2283–2297.
- Aerts, R., Cornelissen, J.H.C., Dorrepaal, E., van Logtestijn, R.S.P. & Callaghan, T.V. (2004) Effects of experimentally imposed climate scenarios on flowering phenology and flower production of sub-arctic bog species. *Global Change Biology* 10: 1599–1609.
- Agee, J.K. & Skinner, C.N. (2005) Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management* 211: 83–96.
- Ahola, M., Laaksonen, T., Sippola, K., Eeva, T., Rainio, K. & Lehikoinen, E. (2004) Variation in climate warming along the migration route uncouples arrival and breeding dates. *Global Change Biology* 10: 1610–1617.
- Airaksinen, O. & Karttunen, K. (2001) Natura 2000 -luontotyyppiopas. 2. korjattu painos. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Ympäristöopas 46. 194 s.
- Alahuhta, J., Heino, J., Luoto, M. (2011) Climate change and the future distributions of aquatic macrophytes across boreal catchments. *Journal of Biogeography* 38: 383–393.
- Alatalo, J.M., Jägerbrand, A.K. & Molau, U. (2015) Testing reliability of short-term responses to predict longer-term responses of bryophytes and lichens to environmental change. *Ecological Indicators* 58: 77–85.
- Albert, K.R., Mikkelsen, T.N., Michelsen, A., Ro-Poulsen, H. & van der Linden, L. (2011) Interactive effects of drought, elevated CO₂ and warming on photosynthetic capacity and photosystem performance in temperate heath plants. *Journal of Plant Physiology* 168: 1550–1561.
- Alterra & Eurosite (2013) EU Guidelines on Climate Change and Natura 2000. European Commission Technical Report 068: 1–104.
- Ammunet, T., Heisswolf, A., Klemola, N. & Klemola, T. (2010) Expansion of the winter moth outbreak range: no restrictive effects of competition with the resident autumnal moth. *Ecological Entomology* 35: 45–52.
- Ammunet, T., Kaukoranta, T., Saikkonen, K., Repo, T. & Klemola, T. (2012) Invading and resident defoliators in a changing climate: cold tolerance and predictions concerning extreme winter cold as a range-limiting factor. *Ecological Entomology* 37: 212–220.
- Anderson, M.G. & Ferree, C.E. (2010) Conserving the stage: climate change and the geophysical underpinnings of species diversity. *PLoS ONE* 5: e11554.

- Angelstam, P., Manton, M., Pedersen, S. & Elbakidze, M. (2017a) Disrupted trophic interactions affect recruitment of boreal deciduous and coniferous trees in northern Europe. *Ecological Applications* 27: 1108–1123.
- Angelstam, P., Pedersen, S., Manton, M., Garrido, P., Naumov, V. & Elbakidze, M. (2017b) Green infrastructure maintenance is more than land cover: Large herbivores limit recruitment of key-stone tree species in Sweden. *Landscape and Urban Planning* 167: 368–377.
- Arnell, N. W. (1999) The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global Environmental Change* 9: 5–23.
- Autio, J. & Colpaert, A. (2005) The impact of elevation, topography and snow load damage of trees on the position of the actual timberline on the fells in central Finnish Lapland. *Fennia* 183: 15–36.
- BACC Author Team (2008) Assessment of Climate change for the Baltic Sea basin. Springer, Berlin.
- BACC II Author Team (2015) Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies. Springer, Cham.
- Backe, S. (2004) Kartering av Sveriges palsa myrar. Länsstyrelsens rapportserie nr 4/2014. 72 p.
- Backe, S. (2019) Monitoring of palsa mires in Sweden. County Administrative Board of Norrbotten. Oral presentation, Mires and wetlands of the North Calotte. Vadsö 3.10.20819.
- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V.K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J.C., Farrar, J., Good, J.E., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T.H., Lindroth, R.L., Press, M.C., Symrnioudis, I., Watt, A.D. and Whittaker, J.B. (2002) Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8: 1–16.
- Beckett, R.P., Kranner, I. & Minibayeva, F.V. (2008) Stress physiology and the symbiosis. Ss. 134–151 teoksessa Nash, T. H. III (toim.): *Lichen biology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Beldring, S., Engen-Skaugen, T., Førland, E.J., Roald, L.A. (2008) Climate change impacts on hydrological processes in Norway based on two methods for transferring regional climate model results to meteorological station sites. *Tellus* 60A: 439–450.
- Berglund, H., Edman, M. & Ericson, L. (2005) Temporal variation of wood fungi diversity in boreal old-growth forests: implications for monitoring. *Ecological Applications* 15: 970–982.
- Bertness, M.D. & Ewanchuk, P.J. (2002) Latitudinal and climate-driven variation in the strength and nature of biological interactions in New England salt marshes. *Oecologia* 132: 392–401.
- Betzholtz, P.-E., Pettersson, L.B., Ryrholm, N. & Franzén, M. (2013) With that diet, you will go far: trait-based analysis reveals a link between rapid range expansion and a nitrogen-favoured diet. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280: 20122035.
- Bjerke, J. W. (2011) Winter climate change: Ice encapsulation at mild subfreezing temperatures kills freeze-tolerant lichens. *Environmental and Experimental Botany* 72: 404–408.
- Björk, R.G. & Molau, U. (2007) Ecology of alpine snowbeds and the impact of global change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 39: 34–43.
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilibashi, A., Bonacci, O., Borga, M. et al. (2017) Changing climate shifts timing of European floods. *Science* 357: 588–590.
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R.A.P., Parajka, J., Merz, B., Lun, D., Arheimer, B., Aronica, G., Bilibashi, A., Boháč, M., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G.B., Claps, P., Frolova, N., Ganora, D., Gorbachova, L., Gül, A., Hannaford, J., Harrigan, S., Kireeva, M., Kiss, A., Kjeldsen, T.R., Kohnová, S., Koskela, J.J., Ledvinka, O., Macdonald, N., Mavrova-Guirguinova, M., Mediero, L., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Murphy, C., Osuch, M., Ovcharuk, V., Radevski, I., Salinas, J.S., Sauquet, E., Šraj, M., Szolgay, J., Volpi, E., Wilson, D., Zaimi, K. & Živković, N. (2019) Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature* 573: 108–111.
- Bokhorst, S. F., Bjerke, J. W., Tømmervik, H., Callaghan, T. V. & Phoenix, G. K. (2009) Winter warming events damage sub-Arctic vegetation: consistent evidence from an experimental manipulation and a natural event. *Journal of Ecology* 97: 1408–1415.
- Bokhorst, S., Tømmervik, H., Callaghan, T. V., Phoenix, G. K. & Bjerke, J. W. (2012) Vegetation recovery following extreme winter warming events in the sub-Arctic estimated using NDVI from remote sensing and handheld passive proximal sensors. *Environmental and Experimental Botany* 81: 18–25.
- Borge, A. F., Westermann, S., Solheim, I. & Etzelmüller, B. (2017) Strong degradation of palsas and peat plateaus in northern Norway during the last 60 years. *The Cryosphere* 11: 1–16.
- Bosiö, J., Johansson, M., Callaghan, T.V., Johansen, B. & Christensen, T.R. (2012) Future vegetation changes in thawing subarctic mires and implications for greenhouse gas exchange—a regional assessment. *Climatic Change* DOI 10.1007/s10584-012-0445-1.
- Bring, A., Fedorova, I., Dibike, Y., Hinzman, L., Mård, J., Mernild, S.H., Prowse, T., Semenova, O., Stuefer, S.L., Woo, M.-K. (2016) Arctic terrestrial hydrology: A synthesis of processes, regional effects, and research challenges. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 121: 621–649.
- Buse, J., Boch, S., Hilgers, J. & Griebler, E.M. (2015) Conservation of threatened habitat types under future climate change – Lessons from plant-distribution models and current extinction trends in Southern Germany. *Journal for Nature Conservation* 27: 18–25.
- Buttler, A., Robroek, B.J.M., Laggoun-Défarge, F., Jassey, V.E.J., Pochelon, C., Bernard, G., Delarue, F., Gogo, S., Mariotte, P., Mitchell, E.A.D. & Bragazza, L. (2015) Experimental warming interacts with soil moisture to discriminate plant responses in an ombrotrophic peatland. *Journal of Vegetation Science* 26: 964–974.

- Bässler, C., Müller, J., Dziöck, F., & Brandl, R. (2010) Effects of resource availability and climate on the diversity of wood-decaying fungi. *Journal of Ecology* 98: 822–832.
- Callaghan, T.V., Björn, L.O., Chapin, F.S., Chernov, Y., Christensen, T.B., Huntley, B., Ims, R., Johansson, M., Riedlinger, D.J. & Jonasson, S. (2005) Arctic tundra and polar desert ecosystems. Ss. 243–352 teoksessa Symon, C., Arris L.L. & Heal, B. (toim.): *Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Carter, R.W.G. (1991) Near-future sea level impacts on coastal dune landscapes. *Landscape Ecology* 6: 29–39.
- Chazdos, R.L. & Fetcher, N. (1984) Photosynthetic light environments in a lowland tropical rainforest in Costa Rica. *Journal of Ecology* 72: 553–564.
- Christie, K.S., Bryant, J.P., Gough, L., Ravolainen, V.T., Ruess, R.W. & Tape, K.D. (2015) The role of vertebrate herbivores in regulating shrub expansion in the Arctic: a synthesis. *BioScience* 65: 1123–1133.
- Clarke, D. & Sanitwong Na Ayutthaya, S. (2010) Predicted effects of climate change, vegetation and tree cover on dune slack habitats at Ainsdale on the Sefton Coast, UK. *Journal of Coastal Conservation* 14: 115–125.
- Cohen, J., Pulliainen, J., Ménard, C.B., Johansen, B., Oksanen, L., Luojus, K. & Ikonen, J. (2013) Effect of reindeer grazing on snowmelt, albedo and energy balance based on satellite data analyses. *Remote Sensing of Environment* 135: 107–117.
- Coll, J., Bourke, D., Gormally, M., Skeffington, M.S. & Sweeney, J. (2012) Winners and losers: climate change impacts on biodiversity in Ireland. CCRP Report. Environmental Protection Agency, Johnstown Castle, Co. Wexford, Ireland.
- Cornelissen, J.H.C., Callaghan, T.V., Alatalo, J.M., Michelsen, A., Graglia, E., Hartley, A.E., Hik, D.S., Hobbie, S.E., Press, M.C., Robinson, C.H., Henry, G.H.R., Shaver, G.R., Phoenix, G.K., Jones, D.G., Jonasson, S., Chapin, F.S., Molau, U., Neill, C., Lee, J.A., Melillo, J. M., Sveinbjornsson, B. & Aerts, R. (2001) Global change and arctic ecosystems: is lichen decline a function of increases in vascular plant biomass? *Journal of Ecology* 89: 984–994.
- Crawley, M.J. (toim.) (1997) *Plant ecology*. Toinen painos. Blackwell Science.
- Creed, I.F., Bergström, A.-K., Trick, C.G., Grimm, N.B., Hessen, D.O., Karlsson, J., Kidd, K.A., Kritzbeg, E., McKnight, D.M., Freeman, E.C., Senar, O.E., Andersson, A., Ask, J., Berggren, M., Cherif, M., Giesler, R., Hotchkiss, E.R., Kortelainen, P., Palta, M.M., Vrede T. & Weyhenmeyer, G.A. (2018) Global change-driven effects on dissolved organic matter composition: Implications for food webs of northern lakes. *Global Change Biology* 24: 3692–3714.
- Curreli, A., Wallace, H., Freeman, C., Hollingham, M., Stratford, C., Johnson, H. & Jones, L. (2013) Eco-hydrological requirements of dune slack vegetation and the implications of climate change. *Science of the Total Environment*, 443: 910–919.
- Dale, S. & Andreassen, E.T. (2016) Population decline of the Siberian Tit (*Poecile cinctus*) and an assessment of possible causes. *Ornis Fennica* 93:77–87.
- Daly, C., Conklin, D. R. & Unsworth, M. H. (2010) Local atmospheric decoupling in complex topography alters climate change impacts. *International Journal of Climatology* 30: 1857–1864.
- Damschen, E., Harrison, S., & Grace, J.B. (2010) Climate change effects on an endemic-rich edaphic flora: resurveying Robert H. Whittaker's Siskiyou sites (Oregon, USA). *Ecology* 91: 3609–3619.
- Dawson, T., Jackson, S., House, J., Prentice, I. & Mace, G. (2011) Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate. *Science* 332: 53–58.
- de Groot, W.J., Flannigan, M.D. & Cantin, A.S. (2013) Climate change impacts on future boreal fire regimes. *Forest Ecology and Management* 294: 35–44.
- Delpla, J., Jung, A.-V., Baures, E., Clement, M. & Thomas, O. (2009) Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International* 35: 1225–1233.
- Del Vecchio S., Prisco I., Acosta, A.T.R. & Stanisci, A. (2015) Changes in plant species composition of coastal dune habitats over a 20-year period. *AoB PLANTS* 7: plv018.
- D'Odorico, P., He, Y., Collins, S., De Wekker, S.F.J., Engel, V. & Fuentes, J.D. (2013) Vegetation–microclimate feedbacks in woodland–grassland ecotone. *Global Ecology and Biogeography* 22: 364–379.
- Domisch, S., Araújo, M.B., Bonada, N., Pauls, S.U., Jähnig, S.C., & Haase, P. (2013) Modelling distribution in European stream macroinvertebrates under future climates. *Global Change Biology* 19: 752–762.
- Dorrepaal, E., Aerts, R., Cornelissen, J.H.C., Callaghan, T.V. & van Logtestijn, R.S.P. (2003) Summer warming and increased winter snow cover affect *Sphagnum fuscum* growth, structure and production in a sub-arctic bog. *Global Change Biology* 10: 93–104.
- Dybala, K.E., Matzek, V., Gardali, T. & Seavy, N.E. (2018) Carbon sequestration in riparian forests: A global synthesis and meta-analysis. *Global Change Biology* 25: 57–67.
- Dyderski, M.K., Paž, S., Frelich, L.E. & Jagodziński, A.M. (2018) How much does climate change threaten European forest tree species distributions? *Global Change Biology* 24: 1150–1163.
- Döll, P. & Zhang, J. (2010) Impact of climate change on freshwater ecosystems: a global-scale analysis of ecologically relevant river flow alterations. *Hydrology and Earth System Sciences* 14: 783799.
- EASAC (European Academies' Science Advisory Council) (2017) Multi-functionality and sustainability in the European Union's forests. EASAC policy report 32: 1–43.
- Ebert, K., Ekstedt, K. & Jarsjö, J. (2016) GIS analysis of effects of future Baltic sea level rise on the island of Gotland, Sweden. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16: 1571–1582.

- Eira, I.M.G., Oskal, A., Hanssen-Bauer, I. & Mathiesen, S.D., (2018) Snow cover and the loss of traditional indigenous knowledge. *Nature Climate Change* 8: 924–936.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Paulissen, D. (1991) Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 1–258.
- Eller, F., Skálová, H., Caplan, J.S., Bhattarai, G.P., Burger, M.K., Cronin, J.T., Guo, W.-Y., Guo, X., Hazelton, E.L.G., Kettenring, K.M., Lambertini, C., McCormick, M.K., Meyerson, L.A., Mozdzer, T.J., Pyšek, P., Sorrell, B.K., Whigham, D.F. & Brix, H. (2017) Cosmopolitan species as models for ecophysiological responses to global change: The common reed *Phragmites australis*. *Frontiers in Plant Science* 8: 1833.
- Ellis, C. J. (2018) A mechanistic model of climate change risk: Growth rates and microhabitat specificity for conservation priority woodland epiphytes. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 32: 38–48.
- Elmendorf, S. C., Henry, G. H. R., Hollister, R. D., Björk, R. G., Boulanger-Lapointe, N., Cooper, E. J., Cornelissen, J. H. C., Day, T. A., Dorrepaal, E., Elumeeva, T. G., Gill, M., Gould, W. A., Harte, J., Hik, D. S., Hofgaard, A., Johnson, D. R., Johnstone, J. F., Jónsdóttir, I. S., Jorgenson, J. C., Klanderud, K., Klein, J. A., Koh, S., Kudo, G., Lara, M., Lévesque, E., Magnússon, B., May, J. L., Mercado-Díaz, J. A., Michelsen, A., Molau, U., Myers-Smith, I., Oberbauer, S. F., Onipchenko, V. G., Rixen, C., Martin Schmidt, N., Shaver, G. R., Spasojevic, M. J., Þórhallsdóttir, Þ. E., Tolvanen, A., Troxler, T., Tweedie, C. E., Villareal, S., Wahren, C., Walker, X., Webber, P. J., Welker, J. M. & Wipf, S. (2012) Plot-scale evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming. *Nature Climate Change* 2: 453–457.
- Essl, F., Dullinger, S., Moser, D., Rabitsch, W. & Kleinbauer, I. (2012) Vulnerability of mires under climate change: implications for nature conservation and climate change adaptation. *Biodiversity Conservation* 21: 655–669.
- Euroala, S., Huttunen, S. & Welling, P. (2003) Enontekiön suurtuntureiden (68°45'–69°17'N; 20°45'–22°E) paljakkakasvillisuus. *Kilpisjärvi Notes* 17: 1–28.
- European Environment Agency. (2018a) European Red List of habitats. [viitattu 15.12.2019]
- Fay, P.A., Carlisle, J.D., Knapp, A.K., Blair, J.M. & Collins, S.L. (2003) Productivity response to altered rainfall patterns in a C4-dominated grassland. *Oecologia* 137: 245–251.
- Feurdean, A., Bhagwat, S.A., Willis, K.J., Birks, H.J.B., Lischke, H. & Hickler, T. (2013) Tree migration-rates: narrowing the gap between inferred post-glacial rates and projected rates. *PLoS ONE* 8: e71797.
- Finér, L., Jurgensen, M., Palviainen, M., Piirainen, S. & Page-Dumroese, D. (2016) Does clear-cut harvesting accelerate initial wood decomposition? A five-year study with standard wood material. *Forest Ecology and Management* 372: 10–18.
- Foden, W.B., Butchart, S.H.M., Stuart, S.N., Vié, J., Akçakaya, H.R., Angulo, A., DeVantier, L.M., Gutsche, A., Turak, E., Cao, L., Donner, S.D., Katariya, V., Bernard, R., Holland, R.A., Hughes, A.F., O'Hanlon, S.E., Garnett, S.T., Şekercioğlu, Ç.H. & Mace, G. M. (2013) Identifying the world's most climate change vulnerable species: A systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *PLoS ONE* 8: e65427.
- Foden, W.B., Young, B.E., Akçakaya, H.R., Garcia, R.A., Hoffmann, A.A., Stein, B.A., Thomas, C.D., Wheatley, C.J., Bickford, D., Carr, J.A., Hole, D.G., Martin, T.G., Pacifici, M., Pearce-Higgins, J.W., Platts, P.J., Visconti, P., Watson, J.E.M. & Huntley, B. (2019) Climate change vulnerability assessment of species. *WIREs Climate Change* 10(1): e551.
- Forsius, M., Anttila, S., Arvola, L., Bergström, L., Hakola, H., Heikkinen, H.I., Helenius, J., Hyvärinen, M., Jylhä, K., Karjalainen, J., Keskinen, T., Laine, K., Nikinmaa, E., Pelttonen-Sainio, P., Rankinen, K., Reinikainen, M., Setälä, H. & Vuorenmaa, J. (2013) Impacts and adaptation options of climate change on ecosystem services in Finland: a model based study. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5: 26–40.
- Franke, A.K., Aatsinki, P., Hallikainen, V., Huhta, E., Hyppönen, M., Juntunen, V., Mikkola, K., Neuvonen, S. & Rautio, P. (2015) Quantifying changes of the coniferous forest line in Finnish Lapland during 1983–2009. *Silva Fennica* 49: 1408.
- Friberg, N., Bergfur, J., Rasmussen, J. & Sandin, L. (2013) Changing Northern catchments: Is altered hydrology, temperature or both going to shape future stream communities and ecosystem processes? *Hydrological Processes* 27: 734–740.
- Fridley, J.D., Lynn, J.S., Grime, J.P. & Askew, A.P. (2016) Longer growing seasons shift grassland vegetation towards more-productive species. *Nature Climate Change* 6: 865–868.
- Fronzek, S. 2013. Climate change and the future distribution of palsa mires: ensemble modelling, probabilities and uncertainties. *Monographs of the Boreal Environment Research* 44. 35 s.
- Fronzek, S., Carter, T. R. & Luoto, M. 2011. Evaluating uncertainty in modelling the impact of probabilistic climate change on sub-arctic palsa mires. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11: 2981–2995.
- Fronzek, S., Carter, T. R., Räisänen, J., Ruokolainen, L. & Luoto, M. (2010) Applying probabilistic projections of climate change with impact models: a case study for sub-arctic palsa mires in Fennoscandia. *Climatic Change* 99: 515–534.
- Fronzek, S., Luoto, M. & Carter, T. R. (2006) Potential effect of climate change on the distribution of palsa mires in subarctic Fennoscandia. *Climate Research* 32: 1–12.
- Fält-Nardmann, J.J., Ruohomäki, K., Tikkanen, O.-P. & Neuvonen, S. (2018) Cold hardiness of *Lymantia monacha* and *L. dispar* (Lepidoptera: Erebidae) eggs to extreme winter temperatures: implications for predicting climate change impacts. *Ecological Entomology*. 43: 422–430.

- Fält-Nardmann, J.J., Tikkanen, O.-P., Ruohomäki, K., Otto, L.-F., Leinonen, R., Pöyry, J., Saikkonen, K. & Neuvonen, S. (2018) The recent northward expansion of *Lymantria monacha* in relation to realised changes in temperatures of different seasons. *Forest Ecology and Management* 427: 96–105.
- Gallego-Sala, A.V., Clark, J.M., House, J.I., Orr, H.G., Prentice, I.C., Smith, P., Farewell, T. & Chapman, J. (2010) Bioclimatic envelope model of climate change impacts on blanket peatland distribution in Great Britain. *Climate Research* 45 (Uplands Special Issue), 151–162.
- Gallego-Sala, A.V. & Prentice, I.C., (2013) Blanket peat biome endangered by climate change. *Nature Climate Change* 3:152–155.
- Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R., Martinelli, L.A., Seitzinger, S.P. & Sutton, M.A. (2008) Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320: 889–892.
- Garamvölgyi, Á. & Hufnagel, L. (2013) Impacts of climate change on vegetation distribution no. 1. Climate change induced vegetation shifts in the palearctic region. *Applied Ecology and Environmental Research* 11: 79–122.
- Gauslaa, Y. (2014) Rain, dew, and humid air as drivers of morphology, function and spatial distribution in epiphytic lichens. *Lichenologist* 46: 1–16.
- Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A.Z. & Schepaschenko, D. G. (2015) Boreal forest health and global change. *Science* 349: 819–822.
- Gavin, D.G., Fitzpatrick, M.C., Gugger, P.F., Heath, K.D., Rodríguez-Sánchez, F., Dobrowski, S.Z., Hampe, A., Hu, F.S., Ashcroft, M.B., Bartlein, P.J., Blois, J.L., Carstens, B.C., Davis, E.B., de Lafontaine, G., Edwards, M.E., Fernandez, M., Henne, P.D., Herring, E.M., Holden, Z.A., Kong, W.-S., Liu, J., Magri, D., Matzke, N.J., McGlone, M.S., Saltré, F., Stigall, A.L., Tsai, Y.-H.E. & Williams, J.W. (2014) Climate refugia: joint inference from fossil records, species distribution models and phylogeography. *New Phytologist* 204: 37–54.
- Gillespie, M.A.K., Birkemoe, T., & Sverdrup-Thygeson, A. (2017) Interactions between body size, abundance, seasonality, and phenology in forest beetles. *Ecology and Evolution* 7: 1091–1100.
- Gong, J., Wang, K., Kellomäki, S., Zhang, C., Martikainen, P. & Shurpali, N. (2012) Modeling water table changes in boreal peatlands in Finland under changing climate conditions. *Ecological Modelling* 244:65–78.
- Gough, L.A., Sverdrup-Thygeson, A., Milberg, P., Pilskog, H.E., Jansson, N., Jonsell, M. & Birkemoe, T. (2015) Specialists in ancient trees are more affected by climate than generalists. *Ecology and Evolution* 5: 5632–5641.
- Graae, B.J., Vandvik, V., Armbruster, W.S., Eiserhardt, W.L., Svenning, J.-C., Hylander, K., Ehrlén, J., Speed, J.D.M., Klanderud, K., Bråthen, K.A., Milbau, A., Opedal, Ø.H., Alsos, I.G., Ejrnæs, R., Bruun, H.H., Birks, H.J.B., Westergaard, K.B., Birks, H.H. & Lenoir, J. (2018) Stay or go – how topographic complexity influences alpine plant population and community responses to climate change. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 30: 41–50.
- Grau, O., Ninot, J.M., Blanco-Moreno, J.M., van Logtestijn, R.S.P., Cornelissen, J.H.C. & Callaghan, T.V. (2012) Shrub-tree interactions and environmental changes drive treeline dynamics in the subarctic. *Oikos* 121: 1680–1690.
- Grau-Andrés, R., Davies, G.M., Waldron, S., Scott, E.M. & Gray, A. (2019) Increased fire severity alters initial vegetation regrowth across Calluna-dominated ecosystems. *Journal of Environmental Management* 231: 1004–1011.
- Green, T.G.A., Nash, T.H. III & Lange, O.L. (2008) Physiological ecology of carbon dioxide exchange. Ss. 152–181 teoksessa Nash, T. H. III (toim.): *Lichen biology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Grégoire, J.-C. & Evans, H.F. (2004) Damage and control of Bawbilt organisms – an overview. Ss. 19–37 teoksessa Lieutier, F., Day, K.R., Battisti, A., Grégoire, J.-C. & Evans, H. F. (toim.): *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Gregow, H., Laaksonen, A. & Alper, M.E. (2017) Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010. *Scientific Reports* 7: 46397.
- Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S. & Venäläinen, A. (2011) Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. *Silva Fennica* 45: 35–54.
- Gregow, H., Ruosteenoja, K., Pimenoff, N. & Jylhä, K. (2012) Changes in the mean and extreme geostrophic wind speeds in Northern Europe until 2100 based on nine global climate models. *International Journal of Climatology* 32: 1834–1846.
- Greiser, C., Ehrlén, J., Meineri, E. & Hylander, K. (2019) Hiding from the climate: Characterizing micro-refugia for boreal forest understory species. *Global Change Biology*: DOI: 10.1111/gcb.14874.
- Griffith, G.S. & Boddy, L. (1991) Fungal decomposition of attached angio sperm twigs. III. Effect of water potential and temperature on fungal growth, survival and decay of wood. *New Phytologist* 117: 259–269.
- Grime, J.P., Fridley, J.D., Askew, A.P., Thompson, K., Hodgson, J.G., Bennett, C.R. (2008) Long-term resistance to simulated climate change in an infertile grassland. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 10028–10032.
- Gritsch, A., Dirnböck, T. & Dullinger, S. (2016) Recent changes in alpine vegetation differ among plant communities. *Journal of Vegetation Science* 27: 1177–1186.

- Groenemeijer, P., Vajda, A., Lehtonen, I., Kämäräinen M., Venäläinen A., Gregow H., Becker N., Nissen K., Ulbrich U., Morales Napoles O., Paprotny D. & Pucik T. (2016) Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe. Rain project, D2.5 (Hydro-) meteorological hazard probability in Europe. 165 s.
- Groves, C.R., Game, E.T., Anderson, M.G., Cross, M., Enquist, C., Ferdaña, Z., Girvetz, E., Gondor, A., Hall, K.R., Higgins, J., Marshall, R., Popper, K., Schill, S. & Shafer, S.L. (2012) Incorporating climate change into systematic conservation planning. *Biodiversity and Conservation* 21: 1651–1671.
- Hampe, A. & Jump, A. S. (2011) Climate relicts: past, present, future. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 42: 313–333.
- Hannah, L., Flint, L., Syphard, A.D., Moritz, M.A., Buckley, L.B. & McCullough, I.A. (2014) Fine-grain modeling of species' response to climate change: holdouts, stepping-stones, and microrefugia. *Trends in Ecology & Evolution* 29: 390–397.
- Hannunen, S. & Marinova-Todorova, R. (2016) Pest risk assessment for Dutch elm disease. *Evira Research Reports* 1/2016: 1–106.
- Hardenbol, A., Junninen, K. & Kouki, J. (2020) Julkaisematon aineisto.
- Harley, M. (2011) Climate change and the Natura 2000 network: assessments of species and habitat vulnerability. European Conference on Biodiversity and Climate Change - Science, Practice & Policy, 12–13 April 2011.
- Harrison, S., Damschen, E. & Going, B.M. (2009) Climate gradients, climate change, and special edaphic floras. *Northeastern Naturalist* 16: 121–130.
- He, X., He, K. S. & Hyvönen, J. (2016) Will bryophytes survive in a warming world? Perspectives in *Plant Ecology, Evolution and Systematics* 19: 49–60.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Leikola, N., Pöry, J., Settele, J., Kudrna, O., Marmion, M., Fronzek, S. & Thuiller, W. (2010) Assessing the vulnerability of European butterflies to climate change using multiple criteria. *Biodiversity and Conservation* 19: 695–723.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Araújo, M.B., Virkkala, R., Thuiller, W. & Sykes, M.T. (2006) Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography* 30: 751–777.
- Heikkinen, R., Pöry, J., Fronzek, S., & Leikola, N. (2012) Ilmastomuutos ja vieraslajien leviäminen Suomeen – Tutkimustiedon synteesi ja suurilmastollinen vertailu. *Suomen ympäristö* 7/2012.
- Heilmann-Clausen, J. (2001) A gradient analysis of communities of macrofungi and slime moulds on decaying beech logs. *Mycological Research* 105: 575–596.
- Heilmann-Clausen, J. & Christensen, M. (2004) Does size matter?: On the importance of various dead wood fractions for fungal diversity in Danish beech forests. *Forest Ecology and Management* 201: 105–117.
- Heino, E. & Pouttu, A. (toim.) (2013) Metsätuhot vuonna 2012. Metlan työraportteja, Metla working papers 269: 1–19.
- Heino, J., Virkkala, R. & Toivonen, H. (2009) Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Reviews* 84: 39–54.
- HELCOM (2013) Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013. *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 137.
- Helle, P., Ikonen, K., Rintala, J. & Tiainen, J. (2018) Lumijälkilaskennat riistakolmioilla 2017. Ss. 39–41 teoksessa Helle, P. (toim.): Riistakannat 2017. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2018.
- Hellemaa, P. (1998) The development of coastal dunes and their vegetation in Finland. *Fennia - International Journal of Geography* 176: 111–221.
- Heller, N.E. & Zavaleta, E.S. (2009) Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142: 14–32.
- Henttonen, H.M., Nöjd, P. & Mäkinen, H. (2017) Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971–2010 - An analysis based on National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management* 386: 22–36.
- Henttonen, H.M., Nöjd, P., Suvanto, S., Heikkinen, J. & Mäkinen, H. (2019) Large trees have increased greatly in Finland during 1921–2013, but recent observations on old trees tell a different story. *Ecological Indicators* 99: 118–129.
- Hirvas, H., Lintinen, P., Ojala, A. E. K. & Vanhala, H. (2005) Geological characteristics of the Halti-Ridnitsohkka region, Enontekiö, Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 40: 7–12.
- Hjältén, J., Joelsson, K., Gibb, H., Work, T., Löfroth, T. & Roberge, J.M. (2017) Biodiversity benefits for saproxylic beetles with uneven-aged silviculture. *Forest Ecology and Management* 402: 37–50.
- Hlásny, T., Krokene, P., Liebhold, A., Montagné-Huck, C., Müller, J., Qin, H., Raffa, K., Schelhaas, M.-J., Seidl, R., Svoboda, M. & Viiri, H. (2019) Living with bark beetles: impacts, outlook and management options. *Science to Policy* 8. European Forest Institute.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. (2013) Overvåking av palsmyr. Første gjenanalyse i Leirpullan, Dovrefjell i Sør-Trøndelag. Endringer fra 2007 til 2012. NINA Rapport 958. 46 s.
- Holopainen, J., Helama, S., Lappalainen, H. & Gregow, H. (2013) Plant phenological records in northern Finland since the 18th century as retrieved from databases, archives and diaries for bio-meteorological research. *International Journal of Biometeorology* 57: 423–435.
- Horák, J., Vávrová, E. & Chobot, K. (2010) Habitat preferences influencing populations, distribution and conservation of the endangered saproxylic beetle *Cucujus cinnaberinus* (Coleoptera: Cucujidae) at the landscape level. *European Journal of Entomology* 107: 81–88.

- Howard, C., Stephens, P. A., Tobias, J. A., Sheard, C., Butchart, S. H. & Willis, S. G. (2018) Flight range, fuel load and the impact of climate change on the journeys of migrant birds. *Proceedings of the Royal Society B* 285: 20172329.
- Hudson, J. & Henry, G. (2009) Increased Plant Biomass in a High Arctic Heath Community from 1981 to 2008. *Ecology* 90: 2657–2663.
- Huntley, B., Green, R., Collingham, Y. & Willis, S. (2008) *A Climatic Atlas of European Breeding Birds*. Lynx Edicions.
- Hynynen, J., Huuskonen, S. & Kojola, S. (toim.) (2017) *METSÄ 150 - Metsänkasvatuksen keinot lisätä puuntuotantoa kestävästi ja kannattavasti*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2017. 89 s.
- Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) (2019). *Suomen lajien uhanalaisuus*. Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 704 s. [<http://hdl.handle.net/10138/299501>]
- Hyvärinen, V. (2003) Trends and characteristics of hydrological time series in Finland. *Nordic Hydrology* 34: 71–90.
- Hällfors, M., Aikio, S. & Schulman, L. (2017) Quantifying the need and potential of assisted migration. *Biological Conservation* 205: 34–41.
- Ignatavicius, G. & Toleikiene, M. (2017) Optimisation of the conservation of rare and vulnerable plant species in the perspective of climate change in Lithuanian (nature) reserves. *Archives of Environmental Protection* 43: 61–73.
- Ihalainen, A. & Ahola, A. (2003) Pyry- ja Janika-myrskyjen aiheuttamat puuston tuhot. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2003: 385–401.
- Ihantola, A.-R. (2011) Ilmastomuutos ja metsien ennallistaminen. S. 27 teoksessa Similä, M. & Junninen, K. (toim.): *Metsien ennallistamisen ja luonnonhoidon opas Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja B* 157.
- Ilmatieteen laitos (2010) Ilmastokatsaus 12/2010. Ilmatieteen laitoksen julkaisuja. ISSN: 1239-0291
- Ilmasto-opas (2019a) Suomen ilmasto on lämmennyt. [<http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/16266ad3-e5f5-4987-8760-2b74655182d5/suomen-ilmasto-on-lammennyt.html>]; viitattu 15.12.2019]
- Ilmasto-opas (2019b) Maankohoaminen hillitsee merenpinnan nousua Suomen rannikolla. [<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/338246aa-d354-4607-b087-cd9e0d4a3d04/maankohoaminen-hillitsee-merenpinnan-nousua-suomen-rannikolla.html>]; viitattu 15.12.2019]
- Ilmasto-opas (2019c) Maaperä kuivuu. [<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/0f67f1b8-281d-4d53-a84f-08e209b5a09f/maaperä-kuivuu.html>]; viitattu 15.12.2019]
- Ilmasto-opas (2019d) Kasvukaudet pidentyvät ja lämpenevät. [<http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/b801e77a-b461-42cf-8f8b-be63658776ab/kasvukaudet-pidentyvät-ja-lampenevat.html>]; viitattu 15.12.2019]
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2019) IPCC Special Report on the ocean and cryosphere in a changing climate. [<https://www.ipcc.ch/report/srocc/>]; viitattu 15.12.2019]
- Janssen, J.A.M., Rodwell, J. S., Garcia Criado, M., Gubbay, S., Haynes, T., Nieto, A., Sanders, N., Landucci, F., Loidi, J., Ssymank, A., Tahvanainen, T., Valderrabano, M., Acosta, A., Aronsson, M., Arts, G., Altorre, F., Bergmeier, E., Bijlsma, R.J., Bioret, F., Bită-Nicolae, C., Biurrun, I., Calix, M., Capelo, J., Čarni, A., Chytrý, M., Dengler, J., Dimopoulos, P., Essi, F., Gardfjeil, H., Gigante, D., Giusso del Gaido, G., Hajek, M., Jansen, F., Jansen, J., Kapfer, J., Mickolajczak, A., Molina, J. A., Molnar, Z., Pater-noster, D., Piernik, A., Poulin, B., Renaux, B., Schaminee, J.H.J., Šumberova, K., Toivonen, H., Tonteri, T., Tsiroidis, I., Tzonev, R. & Valachovič, M. (2016) European red list of habitats - Part 2. Terrestrial and freshwater habitats. Luxembourg, Publications Office of the European Union. 38 s.
- Jansson, R., Ström, L. & Nilsson, C. (2019) Smaller future floods imply less habitat for riparian plants along a boreal river. *Ecological Applications* 29: e01977.
- Jansson, R., Nilsson, C., Keskitalo, E.C.H., Vlasova, T., Sutinen, M.-L., Moen, J., Chapin, F.S., Bråthen, K.A., Cabeza, M., Callaghan, T.V., van Oort, B., Dannevig, H., Bay-larsen, I.A., Ims, R.A. & Aspholm, P.E. (2015) Future changes in the supply of goods and services from natural ecosystems: prospects for the European north. *Ecology and Society* 20: 32.
- Jepsen, J.U., Hagen, S.B., Ims, R.A. & Yoccoz, N.G. (2008) Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology* 77: 257–264.
- Jepsen, J.U., Kapari, L., Hagen, S.B., Schott, T., Vindstad, O.P.L., Nilsen, A.C. & Ims, R.A. (2011) Rapid northwards expansion of a forest insect pest attributed to spring phenology matching with sub-Arctic birch. *Global Change Biology* 17: 2071–2083.
- Jerling, L. (1999) Sea Shores. Ss. 169–185 teoksessa Rydin, H., Snoeij, P. & Diekmann, M. (toim.): *Swedish Plant Geography*. Acta Phytogeographica Suecica 84.
- Johansson, M.M., Kahma, K.K., Boman, H. & Launiainen, J. (2004) Scenarios for sea level on the Finnish coast. *Boreal Environmental Research* 9: 153–166.
- Johansson, M.M., Pellikka, H., Kahma, K.K. & Ruosteenoja, K. (2014) Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast. *Journal of Marine Systems* 129: 35–46.
- Johansson, P. (2008) Consequences of disturbance on epiphytic lichens in boreal and near boreal forests. *Biological Conservation* 141: 1933–1944.

- Johnson, R.K. & Almlöf, K. (2016) Adapting boreal streams to climate change: effects of riparian vegetation on water temperature and biological assemblages. *Freshwater Science* 35: 984–997.
- Jones, L., Garbutt, A., Hansom, J. & Angus, S. (2013) Impacts of climate change on coastal habitats. *MCCIP Science Review* 2013: 167–179.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. (2009) A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology* 75: 2381–2447.
- Jonsson, B.G., Ekström, M., Esseen, P.-A., Grafström, A., Ståhl, G. & Westerlund, B. (2016) Dead wood availability in managed Swedish forests – Policy outcomes and implications for biodiversity. *Forest Ecology and Management* 376: 174–182.
- Jonsson, P.R., Kotta, J., Andersson, H.C., Herkül, K., Virtanen, E., Nyström Sandman, A. & Johanneson, K. (2018) High climate velocity and population fragmentation may constrain climate-driven range shift of the key habitat former *Fucus vesiculosus*. *Diversity and Distributions* 24: 892–905.
- Jonzén, N., Lindén, A., Ergon, T., Knudsen, E., Vik, J. O., Rubolini, D., Piacentini, D., Brinch, C., Spina, F., Karlsson, L., Stervander, M., Andersson, A., Waldenström, J., Lehikoinen, A., Edvardsen, E., Solvang, R. & Stenseth, N. C. (2006) Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science* 312: 1959–1961.
- Junninen, K. (toim.) (2012) Haapametsien käävät. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja A 199. 79 s.
- Juntunen, P. (2008) Lapin perinnebiotooppien hoito-ohjelma. Lapin ympäristökeskuksen raportteja 2/2008. 50 s.
- Juntunen, V. & Neuvonen, S. (2006) Natural regeneration of Scots pine and Norway spruce close to the timberline in northern Finland. *Silva Fennica* 40: 443–458.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J. & Fronzek, S. (2012) Ilmasto muuttuu Suomessa. Ss. 16–23 teoksessa Ruuhela, R. (toim.): Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? – yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriö. MMM:n julkaisuja, 6/2011.
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H. & Ruosteenoja, K. (2004) Climate change projections for Finland during the 21st century. *Boreal Environmental Research* 9: 127–152.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. (2009) Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. *ACCLIM-hankkeen raportti 2009*. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2009(4): 1–102.
- Jyväsjärvi, J., Marttila, H., Rossi, P. M., Ala-Aho, P., Olofsson, B., Nisell, J., Backman, B., Ilmonen, J., Virtanen, R., Paasivirta, L., Britschgi, R., Klove, B. & Muotka, T. (2015) Climate-induced warming imposes a threat to north European spring ecosystems. *Global Change Biology* 21: 4561–4569.
- Jönsson, A.M., Appelberg, G., Harding, S. & Barring, L. (2009) Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Global Change Biology* 15: 486–499.
- Jönsson, A.M., Harding, S., Krokene, P., Lange, H., Lindelöw, Å., Økland, B., Ravn, H.P. & Schroeder, L.M. (2011) Modelling the potential impact of global warming on *Ips typographus* voltinism and reproductive diapause. *Climatic Change* 109: 695–718.
- Kaakinen, E., Kokko, A., Aapala, K., Autio, O., Eurola, S., Hotanen, J.-P., Kondelin, H., Lindholm, T., Nousiainen, H., Rehell, S., Ruuhijärvi, R., Sallantausta, T., Salminen, P., Tahvanainen, T., Tuominen, S., Turunen, J., Vasander, H. & Virtanen, K. 2018. Suot. Julk.: Kontula T., Raunio A. (eds.), Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 2 - luontotyyppien kuvaukset. Helsinki, Helsinki, Suomen ympäristökeskus : Ympäristöministeriö. Ss. 321–474. Suomen Ympäristö; 2018, 5.
- Kaarlejärvi, E. & Olofsson, J. (2014) Concurrent biotic interactions influence plant performance at their altitudinal distribution margins. *Oikos* 123: 943–952.
- Kallio, N. (2019) Suomen rannikon lajiston elinalueiden arvioidut muutokset ilmastonmuutoksesta aiheutuvan suolapitoisuuden alenemisen myötä. Maantieteen/geologian pro gradu –tutkielma. Turun yliopisto, Turku. 98 s.
- Kankaala, P., Ojala, A., Tulonen, T. & Arvola, L. (2002) Changes in nutrient retention capacity of boreal aquatic ecosystems under climate warming: a simulation study. *Hydrobiologia* 469: 67–76.
- Kapfer, J., Virtanen, R., & Grytnes, J.-A. (2012) Changes in arctic vegetation on Jan Mayen island over 19 and 80 years. *Journal of Vegetation Science* 23: 771–781.
- Kalliovirta, M., Lampinen, R. & Rytteri, T. (2012) Suomen uhanalaiset kasvit. Tammi, Helsinki.
- Karlsen, S.R., Jepsen, J.U., Odland, A., Ims, R.A. & Elvebakk, A. (2013) Outbreaks by canopy-feeding geometrid moth cause state-dependent shifts in understorey plant communities. *Oecologia* 173: 859–870.
- Kauppi, P.E., Posch, M. & Pirinen, P. (2014) Large impacts of climatic warming on growth of boreal forests since 1960. *PLoS ONE* 9: e111340.
- Keijsers, J., De Groot, A. & Riksen, M. (2016) Modeling the biogeomorphic evolution of coastal dunes in response to climate change. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 121: 1161–1181.
- Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, T. & Strandman, H. (2008) Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363: 2339–2349.
- Kellomäki, S., Strandman, H., Korhonen, K., Nuutinen, T. & Peltola, H. (2005) Adaptation of forest ecosystems, forests and forestry to climate change. *FINADAPT Working Paper* 4. Finnish Environment Institute Mimeographs 334: 1–44.

- Kilpeläinen, J., Punttila, P., Sundström, L., Niemelä, P. & Finér, L. (2005) Forest stand structure, site type and distribution of ant mounds in boreal forests in Finland in the 1950s. *Annales Zoologici Fennici* 42: 243–258.
- Kitti, H., Forbes, B. C., & Oksanen, J. (2009) Long- and short-term effects of reindeer grazing on tundra wetland vegetation. *Polar Biology* 32: 253–261.
- Kiuru, P. (2019) Modeling CO₂ emissions from boreal lakes in present and future. Jyväskylä, University of Jyväskylä, JYU Dissertations 80: 1–151.
- Kivinen, S., Kaarlejärvi, E., Jylhä, K. & Räisänen, J. (2012) Spatiotemporal distribution of threatened high-latitude snowbed and snow patch habitats in warming climate. *Environmental Research Letters* 7: 034024.
- Kivinen, S. & Rasmus, S. (2015) Observed cold season changes in a Fennoscandian fell area over the past three decades. *Ambio* 44: 214–225.
- Kivinen, S., Rasmus, S., Jylhä, K. & Laapas, M. (2017) Climate variations over the past century (1914–2013) in northern Fennoscandia: trends and extreme events. *Climate* 5: 16.
- Klanderud, K., Meineri, E., Töpper, J., Michel, P. & Vandvik, V. (2017) Biotic interaction effects on seedling recruitment along bioclimatic gradients: testing the stress-gradient hypothesis. *Journal of Vegetation Science* 28: 347–356.
- Klanderud, K., Vandvik, V. & Goldberg, D. (2015) The Importance of Biotic vs. Abiotic Drivers of Local Plant Community Composition Along Regional Bioclimatic Gradients. *PLoS ONE* 10: e0130205.
- Kløve, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J.J., Kupfersberger, H., Kværner, J., Muotka, T., Mykrä, H., Preda, E., Rossi, P., Uvo, C.B., Velasco, E. & Pulido-Velazquez, M. (2014) Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology* 518: 250–266.
- Koistinen, A., Luoro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) (2016) Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapio Oy, Tapion julkaisuja. 78 p.
- Komonen, A. (2004) The role of niche breadth, resource availability and range position on the life history of butterflies. *Oikos* 105: 41–54.
- Komonen, A., Toivanen, T. & Punttila, P. (2011) Ennallistamiseen, metsäpaloihin ja tuulenkaatoihin liittyvät hyönteistuhoriskit. Ss. 67–70 teoksessa Similä, M. & Junninen, K. (toim.): Metsien ennallistamisen ja luonnonhoidon opas Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja B 157.
- Kongstad, J., Schmidt, I.K., Riis-Nielsen, T., Arndal, M.F., Mikkelsen, T.N. & Beier, C. (2012) High resilience in heathland plants to changes in temperature, drought, and CO₂ in combination: Results from the CLIMATE experiment. *Ecosystems* 15: 269–283.
- Kont, A., Jaagus, J. & Aunap, R. (2003) Climate change scenarios and the effect of sea-level rise for Estonia. *Global and Planetary Change* 36: 1–15.
- Kont, A., Jaagus, J., Aunap, R., Ratass, U. & Rivis, R. (2008) Implications of sea-level rise for Estonia. *Journal of Coastal Research* 24: 423–431.
- Kont, A., Endjärv, E., Jaagus, J., Lode, E., Orviku, K., Ratass, U., Rivis, R., Suursaar, Ü. & Tõnisson, H. (2007) Impact of climate change on Estonian coastal and inland wetlands – a summary with new results. *Boreal Environmental Research* 12: 653–671.
- Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). (2018) Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1 - tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018: 1–388.
- Korhonen, J. (2006) Long-term changes in lake ice cover in Finland. *Nordic Hydrology* 37: 347–363.
- Korhonen, J. (2007) Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. Suomen ympäristö 45/2007: 1–120.
- Korhonen, J. (2019) Long-term changes and variability of the winter and spring season hydrological regime in Finland. Report Series in Geophysics No 79: 1–85. University of Helsinki.
- Korhonen, J., Kuusisto, E. (2010) Long-term changes in the discharge regime in Finland. *Hydrology Research*. 41: 253–268.
- Korhonen, K.T., Auvinen, A.-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J.-P. & Kolström, T. (2016) Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016: 1–36.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O. & Syrjänen, K. (2019) Miten metsien käsittelytapojen muutos 1990-luvulla on vaikuttanut metsien monimuotoisuudelle merkittäviin rakennepiirteisiin Suomessa? Julkaistavaksi tarjottu käsikirjoitus.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Viiri, H., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Mäkelä, H., Nevalainen, S. & Pitkänen, J. (2013) Suomen metsät 2004–2008 ja niiden kehitys 1921–2008. Metsätieteen aikakauskirja 3/2013: 269–608.
- Koskela, K. (toim.) (2009) Ennallistaminen, luonnonhoito ja seuranta Vattajan Dyyni Life – hankkeessa 2005–2009. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 180: 1–218.
- Kotiaho, J., Niemelä, J., Sääksjärvi, I., Schulman, L., Mönkkönen, M., Boström, C., Jutila, H., Halme, P., Koljonen, S., Oldén, A., Kontula, T. & Hautakangas, S. (2019) Elonkirjo ehtyy – Suosituksia luonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi. JYU. WISDOM, Wisdom letters, 1/2019. [https://www.jyu.fi/en/research/wisdom/letters/jyu_wisdom_letter_1_2019.pdf; viitattu 15.12.2019]
- Kouki, J., Arnold, K. & Martikainen, P. (2004) Long-term persistence of aspen - a key host for many threatened species - is endangered in old-growth conservation areas in Finland. *Journal for Nature Conservation* 12: 41–52.

- Kouki, J., Junninen, K., Mäkelä, K., Hokkanen, M., Aakala, T., Hallikainen, V., Korhonen, K.T., Kuuluvainen, T., Loiskekoski, M., Mattila, O., Matveinen, K., Punttila, P., Ruokanen, I., Valkonen, S. & Virkkala, R. (2018a) Metsät. Ss. 475–567 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 2 – luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristö 5/2018.
- Kouki, J., Junninen, K., Mäkelä, K., Hokkanen, M., Aakala, T., Hallikainen, V., Korhonen, K.T., Kuuluvainen, T., Loiskekoski, M., Mattila, O., Matveinen, K., Punttila, P., Ruokanen, I., Valkonen, S. & Virkkala, R. (2018b) Metsät. Ss. 171–201 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1 - tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018.
- Kozma, R., Lillie, M., Benito, B.M., Svenning, J.-C. & Höglund, J. (2018) Past and potential future population dynamics of three grouse species using ecological and whole genome coalescent modeling. *Ecology and Evolution* 8: 6671–6681.
- Kruys, N. & Jonsson, B.G. (1999) Fine woody debris is important for species richness on logs in managed boreal spruce forests in northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1295–1299.
- Kukko, T. & Pusenius, J. (2018a) Valkohäntäpeurakanta talvella 2016–2017. Ss. 15–17 teoksessa Helle, P. (toim.): Riistakannat 2017. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2018.
- Kukko, T. & Pusenius, J. (2018b) Valkohäntäpeurakanta talvella 2017–2018. Luonnonvarakeskus. Luonnonvarakeskuksen uutinen 20.4.2018.
[http://wordpress1.luke.fi/riistahavainnot-hirvielaimet/wp-content/uploads/sites/5/2018/03/Valkoh%C3%A4nt%C3%A4peurakanta-talvella-2017_2018.pdf]
- Kullman, L. (2002) Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. *Journal of Ecology* 90: 68–77.
- Kullman, L. (2007) Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology. *Journal of Ecology* 95: 41–52.
- Kullman, L. (2010) A richer, greener and smaller alpine world: review and projection of warming-induced plant cover change in the Swedish Scandes. *Ambio* 39: 159–169.
- Kumpula, J., Parikka, P. & Nieminen, M. (2000) Occurrence of certain microfungi on reindeer pastures in northern Finland during winter 1996–97. *Rangifer* 20: 3–8.
- Kumpula, J. & Turunen, M. (2018) Porojen laidunnus ja laidunten kunto tunturialueella. Ss. 283–287 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.
- Kunttu, P. & Kunttu, S.-M. (2018) Eloperäisten rantavallien esiintyminen Saaristomerellä. Julka-isematon käsikirjoitus.
- Kutnar, L., Matijašič, D. & Pisek, R. (2011) Conservation status and potential threats to Natura 2000 forest habitats in Slovenia. *Sumarski List* 135: 215–231.
- Kuuluvainen, T. & Gauthier, S. (2018) Young and old forest in the boreal: critical stages of ecosystem dynamics and management under global change. *Forest Ecosystems* 5: 26.
- Kuuluvainen, T., Mönkkönen, M., Keto-Tokoi, P., Kuusinen, M., Aapala, K. & Tukia, H. (2004) Metsien monimuotoisuuden turvaamisen perusteet. Ss. 142–191 teoksessa Kuuluvainen, T., Saaristo, L., Keto-Tokoi, P., Kostamo, J., Kuuluvainen, J., Kuusinen, M., Ollikainen, M. & Salpakivi-Salomaa, P. (toim.): Metsän kätköissä - Suomen metsäluonnon monimuotoisuus. Edita, Helsinki.
- Kuuluvainen, T., Wallenius, T. H., Kauhanen, H., Aakala, T., Mikkola, K., Demidova, N. & Ogibin, B. (2014) Episodic, patchy disturbances characterize an old-growth *Picea abies* dominated forest landscape in northeastern Europe. *Forest Ecology and Management* 320: 96–103.
- Kuussaari, M., Saccheri, I., Camara, M., & Hanski, I. (1998) Allee effect and population dynamics in the *Glanville fritillaria* butterfly. *Oikos* 82: 384–392.
- Kuussaari, M., Saarinen, M., Korpela, E.-L., Pöyry, J. & Hyvönen, T. (2014) Higher mobility of butterflies than moths connected to habitat suitability and body size in a release experiment. *Ecology and Evolution* 4: 3800–3811.
- Laakso, L., Mikkonen, S., Drebs, A., Karjalainen, A., Pirinen, P. & Alenius, P. (2018) 100 years of atmospheric and marine observations at the Finnish Utö Island in the Baltic Sea. *Ocean Science* 14: 617–632.
- Laine, A.M., Mäkiranta, P., Laiho, R., Mehtätalo, L., Penttilä, J., Korrensalo, A., Minkkinen, K., Fritze, H. & Tuittila, E.-S. (2019) Warming impacts on boreal fen CO₂ exchange under wet and dry conditions. *Global Change Biology* 25: 1995–2008.
- Lajitietokeskus (2019) Lajiluettelo 2018. Suomen lajitietokeskus, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsingin yliopisto, Helsinki. [viitattu 15.12.2019]
- Lammi, A., Kokko, A., Kuoppala, M., Aroviita, J., Ilmonen, J., Jormola, J., Karonen, M., Kotanen, J., Luotonen, H., Muotka, T., Mykrä, H., Rintanen, T., Sojakka, P., Teeriaho, J., Teppo, A., Toivonen, H., Urho, L. & Vuori, K.-M. (2018a) Sisävedet ja rannat. Ss. 83–115 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.

- Lammi, A., Kokko, A., Kuoppala, M., Aroviita, J., Ilmonen, J., Jormola, J., Karonen, M., Kotanen, J., Luotonen, H., Muotka, T., Mykrä, H., Rintanen, T., Sojakka, P., Teeriaho, J., Teppo, A., Toivonen, H., Urho, L. & Vuori, K.-M. (2018b) Sisävedet ja rannat. Ss. 187–320 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 2: luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.
- Lange, H., Økland, B. & Krokene, P. (2006) Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *InterJournal* 1648: 1–10.
- Lappalainen, H. K., Linkosalo, T. & Venäläinen, A. (2008) Long-term trends in spring phenology in a boreal forest in central Finland. *Boreal Environment Research* 13: 303–318.
- Larsen, S., Aadersen, T. & Hessen, D.O. (2011) Climate change predicted to cause severe increase of organic carbon in lakes. *Global Change Biology* 17: 1186–1192.
- Larson, D.W., Matthes, U. & Kelly, P.E. (2005) *Cliff ecology: pattern and process in cliff ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lawler, J.J., Tear, T.H., Pyke, C., Shaw, M.R., Gonzalez, P., Kareiva, P., Hansen, L., Hannah, L., Klausmeyer, K., Aldous, A., Bienz, C. & Pearsall, S. (2010) Resource management in a changing and uncertain climate. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8: 35–43.
- Lehikoinen, A. & Virkkala, R. (2016) North by north-west: climate change and directions of density shifts in birds. *Global Change Biology* 22: 1121–1129.
- Lehmann, P., Ammunet, T., Barton, M., Battisti, A., Eigenbrode, S. D., Jepsen, J. U., Kalinkat, G., Neuvonen, S., Niemelä, P., Økland, B., Terblanche, J. S. & Björkman, C. (2018) Complex responses of global insect pests to climate change. [bioRxiv preprint, <http://dx.doi.org/10.1101/425488>; viitattu 15.12.2019]
- Lehtomaa, L., Ahonen, I., Hakamäki, H., Häggblom, M., Jutila, H., Järvinen, C., Kemppainen, R., Kondelin, H., Laitinen, T., Lipponen, M., Mussaari, M., Pessa, J., Raatikainen, K.J., Raatikainen, K., Tuominen, S., Vainio, M., Vieno, M. & Vuomajoki, M. (2018) Perinnebiotoopit. Ss. 225–254 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.
- Lehtonen, I. (2017) Projected climate change impact on fire risk and heavy snow loads in the Finnish forests. *Finnish Meteorological Institute Contributions* 133: 1–36.
- Lehtonen, I. & Pirinen, P. (2019) 2018: An exceptionally warm thermal growing season in Finland. *FMI's Climate Bulletin: Research Letters* 1/2019. [<https://doi.org/10.35614/ISSN-2341-6408-IK-2019-03-RL>]
- Lehtonen, I., Hoppula, P., Pirinen, P. & Gregow, H. (2014) Modelling crown snow loads in Finland: a comparison of two methods. *Silva Fennica* 48: 1120.
- Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Gregow, H., Venäläinen, A. & Peltola, H. (2016a) Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 16: 2259–2271.
- Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Peltola, H. & Gregow, H. (2016b) Risk of large-scale fires in boreal forests of Finland under changing climate. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 16: 239–253.
- Leinonen, R., Pöyry, J., Söderman, G. & Tuominen-Roto, L. (2016) Suomen yöperhosseuranta (Nocturna) 1993–2012. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 15/2016.
- Leinonen, R., Pöyry, J., Söderman, G. & Tuominen-Roto, L. (2017) Suomen yöperhosyhteisöt muutoksessa – valtakunnallisen yöperhosseurannan keskeisiä tuloksia 1993–2012. *Baptia* 42: 74–92.
- Lennartsson, T. & Simonsson, L. (2007) Biologisk mångfald och klimatförändringar – Vad vet vi? Vad behöver vi veta? Vad kan vi göra? Centrum för biologisk mångfald. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Lento, J., Goedkoop, W., Culp, J., Christoffersen, K.S., Lárusson, K.F., Fefilova, E., Guðbergsson, G., Liljaniemi, P., Ólafsson, J.S., Sandøy, S., Zimmerman, C., Christensen, T., Chambers, P., Heino, J., Hellsten, S., Kahlert, M., Keck, F., Laske, S., Chun Pong Lau, D., Lavoie, I., Levenstein, B., Mariash, H., Rühland, K., Saulnier-Talbot, E., Schartau, A.K. & Svenning, M. (2019) State of the Arctic Freshwater Biodiversity. *Conservation of Arctic Flora and Fauna International Secretariat, Akureyri, Iceland*. 124 s.
- Lépy, E. & Pasanen, L. (2017) Observed regional climate variability during the last 50 years in reindeer herding cooperatives of Finnish fell Lapland. *Climate* 5: 81.
- Lesica, P. & Kittelson, P.M. (2010) Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments* 74: 1013–1017.

- Liang, J., Crowther, T.W., Picard, N., Wiser, S., Zhou, M., Alberti, G., Schulze, E.-D., McGuire, A.D., Bozzato, F., Pretzsch, H., de-Miguel, S., Paquette, A., Hérault, B., Scherer-Lorenzen, M., Barrett, C.B., Glick, H.B., Hengeveld, G.M., Nabuurs, G.-J., Pfautsch, S., Viana, H., Vibrans, A.C., Ammer, C., Schall, P., Verbyla, D., Tchebakova, N., Fischer, M., Watson, J.V., Chen, H.Y.H., Lei, X., Schelhaas, M.-J., Lu, H., Gianelle, D., Parfenova, E.I., Salas, C., Lee, E., Lee, B., Kim, H.S., Bruehlheide, H., Coomes, D.A., Piotta, D., Sunderland, T., Schmid, B., Gourlet-Fleury, S., Sonké, B., Tavani, R., Zhu, J., Brandl, S., Vayreda, J., Kitahara, F., Searle, E.B., Neldner, V.J., Ngugi, M.R., Baraloto, C., Frizzera, L., Bałazy, R., Oleksyn, J., Zawila-Niedzwiecki, T., Bouriaud, O., Bussotti, F., Finér, L., Jaroszewicz, B., Jucker, T., Valladares, F., Jagodzinski, A.M., Peri, P.L., Gonmadje, C., Marthy, W., O'Brien, T., Martin, E.H., Marshall, A.R., Rovero, F., Bitariho, R., Niklaus, P.A., Alvarez-Loayza, P., Chamuya, N., Valencia, R., Mortier, F., Wortel, V., Engone-Obiang, N.L., Ferreira, L.V., Odeke, D.E., Vasquez, R.M., Lewis, S.L. & Reich, P.B. (2016) Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science* 354: aaf8957.
- Lilja, A., Hantula, J., Rytönen, A., Müller, M., Parikka, P., Pouttu, A. & Kurkela, T. (2010) Vieras- ja tulokaslajit tautien aiheuttajina metsäpuilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2010: 283–301.
- Lind, L., Nilsson, C., Polvi, L.E. & Weber, C. (2014) The role of ice dynamics in shaping vegetation in flowing waters. *Biological Reviews* 89: 791–804.
- Lind, L. & Nilsson, C. (2015) Vegetation patterns in small boreal streams related to ice and winter floods. *Journal of Ecology* 103: 431–440.
- Lindberg, H. (2017) Kangasmetsien paloainesten luokittelu ja kosteusvaihtelu metsäpalontorjunnan ja kulotusten kehittämisen kannalta. *Lisensiaatintutkimus, Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Metsätieteiden laitos*. 21 s.
- Lindberg, H., Saaristo, L. & Nieminen, A. (2018) Tuli takaisin metsiin. *Tapion raportteja* 30: 1–30.
- Lindenmayer, D.B., Blanchard, W., Blair, D., McBurney, L., Stein, J. & Banks, S.C. (2018) Empirical relationships between tree fall and landscape-level amounts of logging and fire. *PLoS ONE* 13: e0193132.
- Locosselli, G.M., Cardim, R.H. & Ceccantini, G. (2016) Rock outcrops reduce temperature-induced stress for tropical conifer by decoupling regional climate in the semiarid environment. *International Journal of Biometeorology* 60: 639–649.
- Lubek A., Kukwa, M., Jaroszewicz, B. & Czortek, P. (2018) Changes in the epiphytic lichen biota of Białowieża Primeval Forest are not explained by climate warming. *Science of the Total Environment* 643: 468–478.
- Luomaranta, A., Aalto, J. & Jylhä, K. (2019) Snow cover trends in Finland over 1961–2014 based on gridded snow depth observations. *International Journal of Climatology* 39: 3147–3159.
- Luomaranta, A., Haapala, J., Gregow, H., Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Laaksonen, A. (2010) Itämeren jääpeitteen muutokset vuoteen 2050 mennessä. *Ilmatieteen laitos, Helsinki. Ilmatieteen laitoksen raportteja* 2010: 4. 23 s.
- Luonnonvarakeskus (2018) Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12): Puuvarat kasvavat edelleen. Liite 1: Suomen metsävaratietoja. [<https://www.luke.fi/uutiset/valtakunnan-metsien-12-inventointi-vmi12-puuvarat-kasvat-edelleen/>; viitattu 15.12.2019]
- Luonnonvarakeskus (2019) Metsien suojelu 1.1.2019. [https://stat.luke.fi/metsien-suojelu-112019_fi]
- Luoto, M. & Seppälä, M. (2003) Thermokarst ponds as indicators of the former distribution of palsas in Finnish Lapland. *Permafrost and Periglacial Processes* 14: 19–27.
- Luoto, M., Fronzek, S. & Zuidhoff, F. S. (2004a) Spatial modelling of palsa mires in relation to climate in northern Europe. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 1373–1387.
- Luoto, M., Heikkinen, R.K., & Carter, T.R. (2004b) Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. *Environmental Conservation* 31: 30–37.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Naturvårdsenheten (2013) Skyddad natur i ett förändrat klimat – Grön infrastruktur i strandängar och ädellövmiljöer samt klimatanpassad skötsel av skyddad natur. *Rapport* 2013: 1–44.
- Maa- ja metsätalousministeriö (2019) Kansallinen metsästrategia 2025 - päivitys. Valtioneuvoston periaatepäätös 21.2.2019. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 7/2019: 1–115.
- Mackie, K.A., Zeiter, M., Bloor, J.M.G. & Stampfli, A. (2019) Plant functional groups mediate drought resistance and recovery in a multisite grassland experiment. *Journal of Ecology* 107: 937–949.
- Magnuson, J.J., Robertson, D. M., Benson, B.J., Wynne, R.H., Livingstone, D.M., Arai, T., Assel, R.A., Barry, R.G., Card, V., Kuusisto, E., Granin, N.G., Prowse, T.D., Stewart, K.M. & Vuglinski, V.S. (2000) Historical Trends in Lake and River Ice Cover in the Northern Hemisphere. *Science* 289: 1743–1746.
- Maliniemi, T., Kapfer, J., Saccone, P., Skog, A. & Virtanen, R. (2018) Long-term vegetation changes of treeless heath communities in northern Fennoscandia: Links to climate change trends and reindeer grazing. *Journal of Vegetation Science* 29: 469–479.
- Marini, L., Ayres, M.P., Battisti, A. & Faccoli, M. (2012) Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climatic Change* 115: 327–341.
- Marini, L., Økland, B., Jönsson, A.M., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B., Grégoire, J.-C., Hurling, R., Nageleisen, L.M., Netherer, S., Ravn, H.P., Weed, A. & Schroeder, M. (2017) Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography* 40: 1426–1435.
- Markkula, I., Turunen, M. & Rasmus, S. (2019) A review of climate change impacts on the ecosystem services in the Saami Homeland in Finland. *Science of the Total Environment* 692: 1070–1085.

- Markovic, D., Carrizo, S., Freyhof, J., Cid, N., Lengyel, S., Scholz, M., Kasperdius, H. & Darwall, W. (2014) Europe's freshwater biodiversity under climate change: distribution shifts and conservation needs. *Diversity and Distributions* 20: 1097–1107.
- Markovic, D., Carrizo, S.F., Kärcher, O., Walz, A. & David, J.N.W. (2017) Vulnerability of European freshwater catchments to climate change. *Global Change Biology* 23: 3567–3580.
- Massie, M.H., Wilson, T.M., Morzillo, A.T. & Henderson, E.B. (2016) Natural areas as a basis for assessing ecosystem vulnerability to climate change. *Ecosphere* 7: e01563.
- Mattson, W.J. & Haack, R.A. (1987) The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *BioScience* 37: 110–118.
- Mattsson T., Kortelainen P., Räike A., Lepistö A. & Thomas D.N. (2015) Spatial and temporal variability of organic C and N concentrations and export from 30 boreal rivers induced by land use and climate. *Science of the Total Environment* 508: 145–154.
- Matveinen, K., Lilja-Rothsten, S., Junninen, K., Bäckman, M., Eteläaho, E., Kajander, L., Kammonen, A., Korhonen, K. T., Lindberg, H., Loiskekoski, M., Musta, I., Nissinen, M., Perkiö, R., Punttila, P., Sahi, V., Syrjänen, K., Tiitinen-Salmela, S. & Tonteri, T. (2015) Metsäelinympäristöt. Ss. 100–122 teoksessa Kotiaho, J. S., Kuusela, S., Nieminen, E. & Päivinen, J. (toim.): Elinympäristöjen tilan edistäminen Suomessa. ELITE-työryhmän mietintö elinympäristöjen tilan edistämisen priorisointisuunnitel-maksi ja arvio suunnitelman kokonaiskustannuksista. Suomen ympäristö 8/2015.
- Maxwell, S.L., Butt, N., Maron, M., McAlpine, C.A., Chapman, S., Ullmann, A., Segan, D.B. & Watson, J.E.M. (2018) Conservation implications of ecological responses to extreme weather and climate events. *Diversity and Distributions* 25: 613–625.
- Mazzei, A., Bonacci, T., Contarini, E., Zetto, T. & Brandmayr, P. (2011) Rediscovering the 'umbrella species' candidate *Cucujus cinnaberinus* (Scopoli, 1763) in Southern Italy (Coleoptera Cucujidae), and notes on bionomy. *Italian Journal of Zoology* 78: 264–270.
- Mazziotta, A., Mönkkönen, M., Strandman, H., Routa, J., Tikkanen, O.-P. & Kellomäki, S. (2014) Modeling the effects of climate change and management on the dead wood dynamics in boreal forest plantations. *European Journal of Forest Research* 133: 405–421.
- Mazziotta, A., Triviño, M., Tikkanen, O.-P., Kouki, J., Strandman, H. & Mönkkönen, M. (2015) Applying a framework for landscape planning under climate change for the conservation of biodiversity in the Finnish boreal forest. *Global Change Biology* 21: 637–651.
- Mazziotta, A., Triviño, M., Tikkanen, O.-P., Kouki, J., Strandman, H. & Mönkkönen, M. (2016) Habitat associations drive species vulnerability to climate change in boreal forests. *Climatic Change* 135: 585–595.
- McLaughlin, B.C., Ackerly, D.D., Klos, P.Z., Natali, J., Dawson, T.E. & Thompson, S.E. (2017) Hydrologic refugia, plants, and climate change. *Global Change Biology* 23: 2941–2961.
- Meier, H.E.M., Hordoir, R., Andersson, H.C., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B.G., Höglund, A. & Schimanke, S. (2012) Modeling the combined impact of changing climate and changing nutrient loads on the Baltic Sea environment in an ensemble of transient simulations for 1961–2099. *Climate Dynamics* 39: 2421–2441.
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M. & Laaksonen, A. (2015) Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 29: 1521–1529.
- Milad, M., Schaich, H., Bürgi, M. & Konold, W. (2011) Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. *Forest Ecology and Management* 261: 829–843.
- Moen, J. & Lagerström, A. (2008) High Species Turnover and Decreasing Plant Species Richness on Mountain Summits in Sweden: Reindeer Grazing Overrides Climate Change? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 40: 382–395.
- Moning, C., Werth, S., Dziok, F., Bässler, C., Bradtka, J., Hothorn, T. & Müller, J. (2010) Lichen diversity in temperate montane forests is influenced by forest structure more than climate. *Forest Ecology and Management* 258: 745–751.
- Moss, B. (2012) Cogs in the endless machine: Lakes, climate change and nutrient cycles: A review. *Science of the Total Environment* 434: 130–142.
- Murdoch, A., Mantyka-Pringle, C. & Sharma, S. (2020) The interactive effects of climate change and land use on boreal stream fish communities. *Science of the Total Environment* 700: 134518.
- Mustonen, K.R. (2016) Climate change and boreal rivers. Predicting present-day patterns and future changes in hydrological regime and its effects on river communities. *Acta Universitatis Ouluensis A* 683.
- Mustonen, K.R., Mykrä, H., Marttila, H., Sarremejane, R., Veijalainen, N., Sippel, K., Muotka, T., Hawkins, C. P. (2018) Thermal and hydrologic responses to climate change predict marked alterations in boreal stream invertebrate assemblages. *Global Change Biology* 24: 2434–2446.
- Müller, J., Brustel, H., Brin, A., Bussler, H., Bouget, C., Obermaier, E., Heidinger, I.M.M., Lachat, T., Förster, B., Horák, J., Procházka, J., Köhler, F., Larrieu, L., Bense, U., Isacsson, G., Zapponi, L. & Gossner, M.M. (2015) Increasing temperature may compensate for lower amounts of dead wood in driving richness of saproxylic beetles. *Ecography* 38: 499–509.
- Mäkelä, H. (2015) Estimates of past and future forest fire danger in Finland from a climatological viewpoint. *Finnish Meteorological Institute Contributions* 112: 1–45.

- Mäkiranta, P., Laiho, R., Mehtätalo, L., Straková, P., Sormunen, J., Minkkinen, K., Penttilä, T. & Fritze, H. (2018) Responses of phenology and biomass production of boreal fens to climate warming under different water-table level regimes. *Global Change Biology* 24: 944–956.
- Nascimbene, J. and Marini, L. (2015) Epiphytic lichen diversity along elevational gradients: biological traits reveal a complex response to water and energy. *Journal of Biogeography* 42: 1222–1232.
- Natural England and RSPB (2014) Climate Change Adaptation Manual. Evidence to support nature conservation in a changing climate. 222 p.
- Netherer, S., Matthews, B., Katzensteiner, K., Blackwell, E., Henschke, P., Hietz, P., Pennerstorfer, J., Rosner, S., Kikuta, S., Schume, H. & Schopf, A. (2015) Do water-limiting conditions predispose Norway spruce to bark beetle attack? *New Phytologist* 205: 1128–1141.
- Neuvonen, S. & Viiri, H. (2018) Kirjanpajan feromoniseurannan tulokset 2017. Ss. 25–29 teoksessa Nevalainen, S., Nuorteva, H. & Pouttu, A. (toim.): Metsätuhot vuonna 2017. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 44/2018.
- Neuvonen, S. & Virtanen, T. (2015) Abiotic factors, climatic variability and forest insect pests. Ss. 154–172 teoksessa Björkman, C. & Niemelä, P. (toim.): Climate Change and Insect Pests. CAB International, UK.
- Neuvonen, S., Bylund, H. & Tømmervik, H. (2005) Forest defoliation risks in birch forest by insects under different climate and land use scenarios in northern Europe. Ss. 125–138 teoksessa Wielgolaski, F. E. (toim.): Plant ecology, herbivory and human impact in northern mountain birch forests. Ecological Studies 180. Springer Verlag.
- Neuvonen, S., Niemelä, P. & Virtanen, T. (1999) Climatic change and insect outbreaks in boreal forests: the role of winter temperatures. *Ecological Bulletins* 47: 63–67.
- Neuvonen, S., Tikkanen, O.-P. & Viiri, H. (2014) Kirjanpajan feromoniseurannan tulokset Suomessa 2012–2013 feromoniseurantojen perusteella. Ss. 11–18 teoksessa Heino, E. & Pouttu, A. (toim.): Metsätuhot vuonna 2013. Metlan työraportteja 295.
- Neuvonen, S., Tikkanen, O.-P. & Viiri, H. (2016) Neljä vuotta kansallista kirjanpajaseurantaa: feromoniseurannan tulokset 2015 ja muita havaintoja. Ss. 28–32 teoksessa Nevalainen, S. & Pouttu, A. (toim.): Metsätuhot vuonna 2015. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 32/2016.
- Neuvonen, S., Nevalainen, S., Silver, T. & Viiri, H. (2017) Kirjanpajan feromoniseurannan tulokset 2016. Ss. 22–27 teoksessa Nevalainen, S. & Pouttu, A. (toim.): Metsätuhot vuonna 2016. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 50/2017.
- Neuvonen, S., Tikkanen, O.-P., Pouttu, A. & Silver, T. (2015) Kirjanpajan tilanne 2014 ja vertailua aiempiin vuosiin. Ss. 16–22 teoksessa Heino, E. & Pouttu, A. (toim.): Metsätuhot vuonna 2014. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 39/2015.
- Neuvonen, S., Kullberg, J., Kämäräinen, M., Lehtonen, I., Nevalainen, S., Siljamo, P. & Venäläinen, A. (2018) Havununna ja lehtinunna - tulevaisuuden metsätuholaisiin on syytä varautua ennakolta. Julk.: Nevalainen, S., Nuorteva, H. & Pouttu, A. (toim.): Metsätuhot vuonna 2017. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 44/2018. S. 30–39.
- Nevalainen, S., Matala, J., Korhonen, K.T., Ihalainen, A. & Nikula, A. (2016) Moose damage in national forest inventories (1986–2008) in Finland. *Silva Fennica* 50: 1410.
- Nevalainen, S., Sirkä, S., Peltoniemi, M. & Neuvonen, S. (2015) Vulnerability to pine sawfly damage decreases with site fertility but the opposite is true with Scleroderris canker damage; results from Finnish ICP Forests and NFI data. *Annals of Forest Science* 72: 909–917.
- Niemelä, P., Chapin III, F.S., Danell, K. & Bryant, J.P. (2001) Herbivory-mediated responses of selected boreal forests to climatic change. *Climatic Change* 48: 427–440.
- Nieminen, M. & Ahola, A. (toim.) (2017) Euroopan unionin luontodirektiivin liitteen IV lajien (pl. lepäkot) esittelyt. Suomen ympäristö 1/2017: 1–278.
- Niittynen, P. (2017) Lumenviipymien ja -pysymien kehitys Suomen tunturialueilla. Julkaisematon käsikirjoitus, Suomen ympäristökeskus. 5 s.
- Niittynen, P. & Luoto, M. (2017) The importance of snow in species distribution models of arctic vegetation. *Ecography* 41: 1024–1037.
- Niittynen, P., Heikkinen R.K. & Luoto, M. (2018). Snow cover is a neglected driver of Arctic biodiversity loss. *Nature Climate Change* 8: 997–1001.
- Nilssen, A.C. (2007) En ny art lauvmakk har kommet til nord-Norge. *Ottar* 268: 27–31.
- Nilsson, C., Jansson, R., Kuglerova, L., Lind, L. & Ström, L. (2013) Boreal Riparian Vegetation Under Climate Change. *Ecosystems* 16: 401–410.
- Niskanen, A. (2018) Lumenviipymälajien esiintymisalueen mallinnus RCP4.5-ilmastomuutoskenaariot mukaisessa tilanteessa vuonna 2069 Suomessa. Julkaisematon aineisto.
- Niskanen, A.K.J., Luoto, M., Väre, H., Heikkinen, R.K. (2017) Models of Arctic-alpine refugia highlight importance of climate and local topography. *Polar Biology* 40: 489–502.
- Niskanen, A.K.J., Niittynen, P., Aalto, J., Väre, H. & Luoto, M. (2019) Lost at high latitudes: Arctic and endemic plants under threat as climate warms. *Diversity and Distributions*, 25: 809–821.
- Nissinen, K. (2017) Does sex or growth form matter? A study of *Populus tremula* L., *Salix myrsinifolia* Salisb. and *Salix repens* L. facing ontogenetic and climatic changes. Publications of the University of Eastern Finland, Dissertations in Forestry and Natural Sciences 291: 1–56.
- Nordal, I. (1987) Tabula Rasa after all? Botanical evidence for ice-free refugia in Scandinavia reviewed. *Journal of Biogeography* 14: 377–388.

- Nordén, B., Götmark, F., Tönnberg, M. & Ryberg, M. (2004) Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland: contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps. *Forest Ecology and Management* 194: 235–248.
- Norokorpi, Y. & Kärkkäinen, S. (1985) Maaston korkeuden vaikutus puusto- ja kasvupaikkatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa. *Folia Forestalia* 632: 1–26.
- Núñez, T.A., Lawler, J.J., McRae, B.H., Pierce, D.J., Krosby, M.B., Kavanagh, D.M., Singleton, P.H. & Tewksbury, J.J. (2013) Connectivity Planning to Address Climate Change. *Conservation Biology* 27: 407–416.
- Nuorteva, M. & Nuorteva, H. (1998) Kilonkallion kuolevat kuuset. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/1998: 607–612.
- Nylén, T. & Luoto, M. (2015) Primary succession, disturbance and productivity drive complex species richness patterns on land uplift beaches. *Journal of Vegetation Science* 26: 267–277.
- Oksanen, L. & Olofsson, J. (2005) Poron kesälaidunnuksen vaikutus harvinaisiin kasveihin: kasviekologinen perspektiivi Mallan porottomuuden jatkumiseen. Ss. 139–156 teoksessa Jokinen, M. (toim.): Poronhoidon ja suojelun vaikutuksen Mallan luonnonpuistossa. Metsäntutkimuslaitos, Kolarin tutkimusasema.
- Oliver, T. H., & Morecroft, M. D. (2014). Interactions between climate change and land use change on biodiversity: attribution problems, risks, and opportunities. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 5: 317–335.
- Oliver, T.H., Thomas, C.D., Hill, J.K., Brereton, T. & Roy, D.B. (2012) Habitat associations of thermophilous butterflies are reduced despite climatic warming. *Global Change Biology* 18: 2720–2729.
- Olofsson, J., Oksanen, L., Callaghan, T., Hulme, P.E., Oksanen, T. & Suominen, O. (2009) Herbivores inhibit climate-driven shrub expansion on the tundra. *Global Change Biology* 15: 2681–2693.
- Olsson, T., Jakkila, J., Veijalainen, N., Backman, L., Kaurola, J. & Vehviläinen, B. (2015) Impacts of climate change on temperature, precipitation and hydrology in Finland – studies using bias corrected Regional Climate Model data. *Hydrology and Earth System Sciences* 19: 3217–3238.
- Otero, J., L'Abée-Lund, J.H., Castro-Santos, T., Leonardsson, K., Størvik, G.O., Jonsson, B., Dempson, B., Russell, I.C., Jensen, A.J., Baglinière, J.-L., Dionne, M., Armstrong, J.D., Romakkaniemi, A., Letcher, B.H., Kocik, J.F., Erkinaro, J., Poole, R., Rogan, G., Lundqvist, H., MacLean, J.C., Jokikokko, E., Arnekleiv, J.V., Kennedy, R.J., Niemelä, E., Caballero, P., Music, P.A., Antonsson, T., Gudjonsson, S., Veselov, A.E., Lamberg, A., Groom, S., Taylor, B.H., Taberner, M., Dillane, M., Arnason, F., Horton, G., Hvidsten, N.A., Jonsson, I.R., Jonsson, N., McKelvey, S., Næsje, T.F., Skaala, Ø., Smith, G.W., Sægvog, H., Stenseth, N.C. & Vøllestad, L.A. (2014) Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Global Change Biology* 20: 61–75.
- Pacifici, M., Foden, W.B., Visconti, P., Watson, J.E.M., Butchart, S.H.M., Kovacs, K.M., Scheffers, B.R., Hole, D.G., Martin, T.G., Akcakaya, H.R., Corlett, R.T., Huntley, B., Bickford, D., Carr, J.A., Hoffmann, A.A., Midgley, G.F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R.G., Williams, S.E., Willis, S.G., Young, B. & Rondinini, C. (2015) Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change* 5: 215–224.
- Pajunen, A., Virtanen, R. & Roininen, H. (2008) The effects of reindeer grazing on the composition and species richness of vegetation in forest–tundra ecotone. *Polar Biology* 31: 1233–1244.
- Pakeman, R.J., Alexander, J., Beaton, J., Brooker, R., Cummins, R., Eastwood, A., Fielding, D., Fisher, J., Gore, S., Hewison, R., Hooper, R., Lennon, J., Mitchell, R., Moore, E., Nolan, A., Orford, K., Pemberton, C., Riach, D., Sim, D., Stockan, J., Trinder, C. & Lewis, R. (2015) Species composition of coastal dune vegetation in Scotland has proved resistant to climate change over a third of a century. *Global Change Biology* 21: 3738–3747.
- Palmer, M.A., Reidy Liermann, C.A., Nilsson, C., Flörke, M., Alcamo, J., Lake, S. & Bond, N. (2008) Climate change and the world's river basins: anticipating management options. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 81–89.
- Panferov, O. & Sogachev, A. (2008) Influence of gap size on wind damage variables in a forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 1869–1881.
- Parmesan C. & Yohe G. (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- Parviainen, M. & Luoto, M. (2007) Climate envelopes of mire complex types in Fennoscandia. *Geografiska Annaler Series A - Physical Geography* 89A: 137–151.
- Pautasso, M., Aas, G., Queloz, V. & Holdenrieder, O. (2013) European ash (*Fraxinus excelsior*) dieback – A conservation biology challenge. *Biological Conservation* 158: 37–49.
- Pearce-Higgins, J. & Green, R. (2014) *Birds and climate change: Impacts and conservation responses*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Pellissier, L., Eidesen, P.B., Ehrich, D., Descombes, P., Schönschwetter, P., Tribsch, A., Westergaard, K. B., Alvarez, N., Guisan, A., Zimmermann, N.E., Normand, S., Vittoz, P., Luoto, M., Damgaard, C., Brochmann, C., Wisz, M.S. & Alsos, I.G. (2016) Past climate-driven range shifts and population genetic diversity in arctic plants. *Journal of Biogeography* 43: 461–470.
- Peltola, H., Ikonen, V.P., Gregow, H., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Venäläinen, A. & Kellomäki, S. (2010) Impacts of climate change on timber production and regional risks of wind-induced damage to forests in Finland. *Forest Ecology and Management* 260: 833–845.

- Peltola, H., Vapaavuori, E., Niemelä, P., Kellomäki, S., Gregow, H., Huitu, O., Kallio, M., Kilpeläinen, A., Müller, M., Neuvonen, S., Salemaa, M., Siitonen, J. & Venäläinen, A. (2012) Ilmastomuutokseen sopeutuminen metsätaloudessa. Ss. 38–46 teoksessa Ruuhela, R. (toim.): Miten väistämättömään ilmastomuutokseen voidaan varautua? - Yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2012:6.
- Peñuelas, J., Gordon, C., Llorens, L., Nielsen, T., Tietema, A., Beier, C., Bruna, P., Emmett, B., Estiarte, M. & Gorissen, A. (2004) Nonintrusive field experiments show different plant responses to warming and drought among sites, seasons, and species in a North-South European gradient. *Ecosystems* 7: 598–612.
- Persson, G., Barring, L., Kjellström, E., Strandberg, G. & Rummukainen, M. (2007) Climate Indices for Vulnerability Assessments. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden.
- Peura, M., Burgas, D., Eyvindson, K., Repo, A. & Mönkkönen, M. (2018) Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation* 217: 104–112.
- Poiani, K.A., Goldman, R.L., Hobson, J., Hoekstra, J.M. & Nelson, K.S. (2011) Redesigning biodiversity conservation projects for climate change: examples from the field. *Biodiversity and Conservation*, 20, 185–201.
- Pospelova, E.B., Pospelov, I.N. & Orlov, M.V. (2017) Climate change in eastern Taimyr over the last 80 years and the warming impact on biodiversity and ecosystem processes in its territory. *Nature Conservation Research* 2: 48–60.
- Pouttu, A. & Annala, E. (2010) Kirjanpainajalla kaksi sukupolvea kesällä 2010. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2010: 521–523.
- Pouttu, A., Lipponen, K., Nevalainen, S., Lindgren, M., Lilja, A., Poteri, M., Neuvonen, S., Henttonen, H. & Hantula, J. (2007) Pest and disease situation during 2002–2005 according to the Forest Damage Advisory Service. Ss. 130–135 teoksessa Merilä, P., Kilponen, T. & Derome, J. (toim.): Forest condition monitoring in Finland - National report 2002–2005. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 45.
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Kemmerer, J. & Uhl, E. (2018) Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management* 429: 589–616.
- Price, D.T., Alfaro, R.I., Brown, K.J., Flannigan, M.D., Fleming, R.A., Hogg, E.H., Girardin, M.P., Lakusta, T., Johnston, M., McKenney, D.W., Pedlar, J.H., Stratton, T., Sturrock, R.N., Thompson, I.D., Trofymow, J.A. & Venier, L.A. (2013) Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems. *Environmental Reviews* 21: 322–365.
- Prisco, I., Carboni, M., Jucker, T. & Acosta, A.T.R. (2016) Temporal changes in the vegetation of Italian coastal dunes: identifying winners and losers through the lens of functional traits. *Journal of Applied Ecology* 53: 1533–1542.
- Provoost, S., Laurence, M., Jones, M. & Edmondson, S.E. (2011) Changes in landscape and vegetation of coastal dunes in northwest Europe: a review. *Journal of Coastal Conservation* 15: 207–226.
- Prowse, T.D., Wrona, F.J., Reist, J.D., Gibson, J.J., Hobbie J.E., Lévesque, M.J. & Vincent, W.F. (2006) Climate change effects on hydroecology of Arctic freshwater ecosystems. *Ambio* 35: 347–358.
- Prowse, T., Alfredsen, K., Beltaos, S., Bonsal, B., Duguay, C., Korhola, A., McNamara, J., Pienitz, R., Vincent, W.F., Vuglinsky, V. & Weyhenmeyer, G.A. (2011) Past and future changes in Arctic lake and river ice. *Ambio* 40: 53–62.
- Punttila, P. (2005) Liite 3. Täydennyksiä metsäelinympäristöjä käsittelevään kappaleeseen 3.2. Ss. 222–227 teoksessa Hildén, M., Auvinen, A.-P. & Primmer, E. (toim.): Suomen biodiversiteettiohjelman arviointi. Suomen ympäristö 770.
- Punttila, P. & Kilpeläinen, J. (2009) Distribution of mound-building ant species (*Formica* spp., Hymenoptera) in Finland: preliminary results of a national survey. *Annales Zoologici Fennici* 46: 1–15.
- Pusenius, J., Kukko, T., Riitta, T. & Wallen, M. (2018) Hirvikannan koko ja rakenne vuonna 2016. Ss. 7–14 teoksessa Helle, P. (toim.): Riistakannat 2017. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2018.
- Pykälä, J. (2001) Perinteinen karjatalous luonnon monimuotoisuuden ylläpitäjänä. Suomen ympäristö 495: 1–205.
- Pykälä, J. (2017) Relation between extinction and assisted colonization of plants in the arctic-alpine and boreal regions. *Conservation Biology* 31: 524–530.
- Pääkkö, E., Mäkelä, K., Saikkonen, A., Tynys, S., Anttonen, M., Johansson, P., Kumpula, J., Mikkola, K., Norokorpi, Y., Suominen, O., Turunen, M., Virtanen, R. & Väre, H. (2018a) Tunturit. Ss. 255–313 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.
- Pääkkö, E., Mäkelä, K., Saikkonen, A., Tynys, S., Anttonen, M., Johansson, P., Kumpula, J., Mikkola, K., Norokorpi, Y., Suominen, O., Turunen, M., Virtanen, R. & Väre, H. (2018b) Tunturit. Ss. 759–878 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 2: luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.
- Pöyry, J. (2001) Perhoset. Ss. 101–119 teoksessa Jari Ilmonen, Terhi Ryttylä ja Aulikki Alanen (toim.): Luontodirektiivin kasvit ja selkärangattomat eläimet Suomen Natura 2000 –ehdotuksen luonnontieteellinen arviointi. Suomen ympäristö 510.

- Pöyry, J. (2018) Potentiaalisten metsätuholaisperhosten kantojen muutokset Suomessa 1993–2016. Julkaisematon selvitys Tapio Oy:lle, Suomen ympäristökeskus (SYKE).
- Pöyry, J., Luoto, M., Heikkinen, R. K., Kuussaari, M. & Saarinen, K. (2009) Species traits explain recent range shifts of Finnish butterflies. *Global Change Biology* 15: 732–743.
- Pöyry, J., Leinonen, R., Söderman, G., Nieminen, M., Heikkinen, R. & Carter, T. (2011) Climate-induced increase of moth multivoltinism in boreal regions. *Global Ecology and Biogeography* 20: 289–298.
- Pöyry, J., Carvalheiro, L. G., Heikkinen, R. K., Kühn, I., Kuussaari, M., Schweiger, O., Valtonen, A., van Bodegom, P.M. & Franzén, M. (2017) The effects of soil eutrophication propagate to higher trophic levels. *Global Ecology and Biogeography* 26: 18–30.
- Radu, D.D. & Duval, T.P. (2018) Precipitation frequency alters peatland ecosystem structure and CO₂ exchange: Contrasting effects on moss, sedge, and shrub communities. *Global Change Biology* 24:2051–2065.
- Randin, C.F., Engler, R., Normand, S., Zappa, M., Zimmermann, N.E., Pearman, P.B. Vittoz, P., Thuillier, W. & Guisan, A. (2009) Climate change and plant distribution: local models predict high-elevation persistence. *Global Change Biology* 15: 1557–1569.
- Rasmus, S., Kivinen, S., Bavay, M. & Heiskanen, J. (2016) Local and regional variability in snow conditions in northern Finland: a reindeer herding perspective. *Ambio* 45: 398–414.
- Rasmus, S., Kivinen, S. & Irannezhad, M. (2018) Basal ice formation in northern Finland snow covers during 1948–2016. *Environmental Research Letters* 13: 114009.
- Rasmus, S., Kumpula, J. & Jylhä, K. (2015) Suomen poronhoitoalueen muuttuvat talviset sää- ja lumi-olosuhteet. *Terra* 124: 169–185.
- Rasmus, S., Kumpula, J. & Siitari, J. (2014) Can a snow structure model estimate snow characteristics relevant for reindeer husbandry? *Rangifer* 34: 37–56.
- Rasmus, S., Turunen, M., Luomaranta, A., Kivinen, S., Jylhä, K. & Räihä, J. (2020). Climate change and reindeer management in Finland: co-analysis of practitioner knowledge and meteorological data for better adaptation. *Science of the Total Environment* 710: 136229.
- Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim.) (2010) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.) (2008) Suomen luontotyyppien uhanalaisuus - Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 8/2008: 1–264.
- Ravolainen, V.T., Bräthen, K.A., Yoccoz, N.G., Nguyen, J.K. & Ims, R.A. (2014) Complementary impacts of small rodents and semi-domesticated ungulates limit tall shrub expansion in the tundra. *Journal of Applied Ecology* 51: 234–241.
- Rayner, A.D. M. & Boddy, L. (1988) *Fungal Decomposition of Wood: Its Biology and Ecology*. Bath Press, Bath, UK.
- Reinikainen, M., Rytteri, T., Kanerva, T., Kekäläinen, H., Koskela, K., Kunttu, P., Mussaari, M., von Numers, M., Rinkineva-Kantola, L., Sievänen, M. & Syrjänen, K. (2018a) Itämeren rannikko. Ss. 63–80 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.
- Reinikainen, M., Rytteri, T., Kanerva, T., Kekäläinen, H., Koskela, K., Kunttu, P., Mussaari, M., von Numers, M., Rinkineva-Kantola, L., Sievänen, M. & Syrjänen, K. (2018b) Itämeren rannikko. Ss. 101–183 teoksessa Kontula T., Raunio A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 2 - luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.
- Reside, A.E., VanDerWal, J., Garnett, S.T. & Kutt, A.S. (2016) Vulnerability of Australian tropical savanna birds to climate change. *Austral Ecology* 41: 106–116.
- Rintanen, T. (1968) The distribution of fjeld plants in eastern Lapland. *Annales Botanici Fennici* 5: 225–305.
- Rolo, V. & Moreno, G. (2019) Shrub encroachment and climate change increase the exposure to drought of Mediterranean wood-pastures. *Science of the Total Environment* 660: 550–558.
- Rolstad, J., Blanck, Y.-L. & Storaunet, K.O. (2017) Fire history in a western Fennoscandian boreal forest as influenced by human land use and climate. *Ecological Monographs* 87: 219–245.
- Rosengren, R., Vepsäläinen, K. & Wuorenrinne, H. (1979) Distribution, nest densities and ecological significance of wood ants (the *Formica rufa* group) in Finland. *Bull. SROP / WPRS Bull.* II-3: 181–213.
- Rugiu, L. (2018) Tolerance of Baltic Sea rocky littoral communities to climate change. *Turun yliopiston julkaisuja –Annales Universitatis Turkuensis, Sarja A II Biologica-Geographica-Geologica* 343: 1–52.
- Ruosteenoja, K. & Räisänen, P. (2013) Seasonal changes in solar radiation and relative humidity in Europe in response to global warming. *Journal of Climate* 26: 2467–2481.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. (2016a) Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica* 51: 17–50.
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. (2016b) Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. *Terra* 2016: 3–15.
- Ruosteenoja, K., Markkanen, T., Venäläinen, A., Räisänen, P. & Peltola, H. (2018) Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century. *Climate Dynamics* 50: 1177–1192.

- Ruuhela, R. (toim.) (2012) Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? – yhteen-
veto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriö.
MMM:n julkaisuja 6/2011. 176 s.
- Ruuhijärvi, R. (2018) Ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia suokasvillisuudessa. Teoksessa:
Kontula, T. & Raunio, A. (toim.) (2018) Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien
punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus ja ympäristömi-
nisteriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018: 150–151.
- Ryttäri, T., Heiskala, K., Kekäläinen, H., Koskela, K., von Numers, M., Rinkineva-Kantola, L. & Syrjä-
nen, K. (2014) Itämeren hiekkarantojen ja dyynien hoito. Ympäristöopas 52: 1–54. Suomen ympäris-
tökeskus.
- Saamelaiskäräjät (2019) Elinkeinot. URL: [<http://www.samediggi.fi/saamelaiset-info>; Viitattu
4.11.2019]
- Räike, A., Kortelainen, P., Mattsson, T. & Thomas, D.N. (2016) Long-term trends (1975–2014) in the
concentrations and export of carbon from Finnish rivers to the Baltic Sea: organic and inorganic
com-ponents compared. *Aquatic Sciences* 78: 505–523.
- Salemaa, M. (2000) Kanerva. Ss. 109–111 teoksessa Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. &
Hotanen, J.-P. (toim.): Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Helsinki.
- Sallinen, A., Tuominen, S., Kumpula, T. & Tahvanainen, T. (2019) Undrained peatland areas disturbed
by surrounding drainage: a large-scale GIS analysis in Finland with a special focus on aapa mires.
Mires and Peat 24, Article 38: 1–22.
- Salminen, P. (2018) Katsaus palsasoiden esiintymiseen ja alueellisiin erityisominaisuuksiin sekä palso-
jen tilaan Suomen ”palsasualueen” eri osissa. Käsikirjoitus. 12 s
- Saloranta, T.M., Forsius, M., Järvinen, M. & Arvola, L. (2009) Impacts of projected climate change on
the thermodynamics of a shallow and a deep lake in Finland: model simulations and Bayesian
uncer-tainty analysis. *Hydrology Research* 40: 234–248.
- Sarremejane, R., Mykrä, H., Huttunen, K.-L., Mustonen, K.-R., Marttila, H., Paavola, R., Sippel, K.,
Veijalainen, N. & Muotka, T. (2018) Climate-driven hydrological variability determines inter-annual
changes in stream invertebrate community assembly. *Oikos* 127: 1586–1595.
- Scarpitta, A.B., Bardat, J., Lalanne, A. & Vellend, M. (2017) Long-term community change: bryophytes
are more responsive than vascular plants to nitrogen deposition and warming. *Journal of Vegetati-
on Science* 28: 1220–1229.
- Schaphoff, S., Reyer, C.P.O., Schepaschenko, D., Gerten, D. & Shvidenko, A. (2016) Tamm Review:
Observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance. *Forest
Ecology and Management* 361: 432–444.
- Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J. & Schuck, A. (2003) Natural disturbances in the European forests in the
19th and 20th centuries. *Global Change Biology* 9: 1620–1633.
- Schlacher, T.A., Schoeman, D.S., Dugan, J., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F. & McLachlan, A. (2008) San-
dy beach ecosystems: key features, sampling issues, management challenges and climate change
impacts. *Marine Ecology* 29: 70–90.
- Schmidt, A. (2011) Time series analysis of ground frost conditions at Abisko, sub-Arctic Sweden,
1985–2010. MSc thesis. Uppsala University, Department of Earth Sciences. Examensarbete vid Insti-
tutionen för geovetenskaper Nr. 233.
- Seidl, R., Schelhaas, M.J., Rammer, W. & Verkerk, P.J. (2014) Increasing forest disturbances in Europe
and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change* 4: 806–810.
- Seddon, P.J., Griffiths, C.J., Soorae, P.S. & Armstrong, D.P. (2014) Reversing defaunation: Restoring
species in a changing world. *Science* 345: 406–412.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr,
M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A. & Rey-
er, C.P.O. (2017) Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7: 395–402.
- Sekar, S. (2012) A meta-analysis of the traits affecting dispersal ability in butterflies: Can wingspan be
used as a proxy? *Journal of Animal Ecology* 81: 174–184.
- Selås, V., Sonnerud, G.A., Framstad, E., Kålås, J.A., Kobro, S., Pedersen, H.B., Spidsø, T.K. & Wiig, Ø.
(2011) Climate change in Norway: warm summers limit grouse reproduction. *Population Ecology*
53: 361–371.
- Senf, C. & Seidl, R. (2018) Natural disturbances are spatially diverse but temporally synchronized
across temperate forest landscapes in Europe. *Global Change Biology* 24: 1201–1211.
- Seppä, H., Alenius, T., Bradshaw, R.H.W., Giesecke, T., Heikkilä, M. & Muukkonen, P. (2009) Invasion
of Norway spruce (*Picea abies*) and the rise of the boreal ecosystem in Fennoscandia. *Journal of
Ecology* 97: 629–640.
- Settele, J., Scholes, R., Betts, R., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., Overpeck, J.T., & Taboada, M.A. (2014)
Terrestrial and inland water systems. Ss. 271–359 teoksessa *Climate Change 2014: Impacts, Adapta-
tion, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to
the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Uni-
versity Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Siegel, R.B., Pyle, P., Thorne, J.H., Holguin, A.J., Howell, C.A., Stock, S. & Tingley, M.W. (2014) Vulnera-
bility of birds to climate change in California's Sierra Nevada. *Avian Conservation and Ecology*, 9:7.
- Sihvo, J. (2002) Ylä-Lapin luonnonhoitoalueen ja Urho Kekkosen kansallispuiston luontokartoitus.
Loppuraportti osa 2: Ylä-Lapin luontotyytit. Metsähallitus, Vantaa. Metsähallituksen luonnonsuo-
jelijulkaisuja, Sarja A 137: 1–175.

- Siitonen, J. (2014) *Ips acuminatus* kills pines in southern Finland. *Silva Fennica* 48: 1145.
- Siitonen, J. & Pouttu, A. (2014) Kirjanpaina jatuhot Rörstrandin vanhojen metsien suojelualueella sekä ympäröivissä talousmetsissä Sipoossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2014: 183–193.
- Smith, R. J., Nelson, P. R., Jovan, S., Hanson, P. J. & McCune, B. (2018) Novel climates reverse carbon uptake of atmospherically dependent epiphytes: Climatic constraints on the iconic boreal forest lichen *Evernia mesomorpha*. *American Journal of Botany* 105: 266–274.
- Smol, J.P., Wolfe, A.P., Birks, H.J.B., Douglas, M.S.V., Jones, V.J., Korhola, A., Pienitz, R., Rühland, K., Sorvari, S., Antoniadou, D., Brooks, S.J., Fallu, M.-A., Hughes, M., Keatley, B.E., Laing, T.E., Michelutti, N., Nazarova, L., Nyman, M., Paterson, A.M., Perren, B., Quinlan, R., Rautio, M., Saulnier-Talbot, E., Siitonen, S., Solovieva, N. & Weckström, J. (2005) Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 4397–4402.
- Soja, A.J., Tchekakova, N.M., French, N.H.F., Flannigan, M.D., Shugart, H.H., Stocks, B.J., Sukhinin, A.I., Parfenova, E.I., Chapin III, F.S. & Stackhouse Jr, P.W. (2007) Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations. *Global and Planetary Change* 56: 274–296.
- Sollid, J. L. & Sørbel, L. (1998) Palsa bogs as a climate indicator – examples from Dovrefjell, Southern Norway. *Ambio* 27: 287–291.
- Sondej, I., Domisch, T., Finér, L. & Czechowski, W. (2018) Wood ants in the Białowieża Forest and factors affecting their distribution. *Annales Zoologici Fennici* 55: 103–114.
- Sonesson, M. & Callaghan, T.V. (1991) Strategies of survival in plants of the Fennoscandian tundra. *Arctic* 44: 95–105.
- Speziale, K.L. & Ezcurra, C. (2015) Rock outcrops as potential biodiversity refugia under climate change in North Patagonia. *Plant Ecology & Diversity* 8: 353–361.
- Stampfli, A., Bloor, J.M.G., Fischer, M. & Zeiter, M. (2018) High land-use intensity exacerbates shifts in grassland vegetation composition after severe experimental drought. *Global Change Biology* 24: 2021–2034.
- Stark, S. (2018) Ilmastonmuutos, laiduntaminen ja maaperän hiilivarastot. S. 291 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.
- Stefańska-Krzaczek, E., Fałtynowicz, W., Szypuła, B. & Kącki, Z. (2018) Diversity loss of lichen pine forests in Poland. *European Journal of Forest Research* 137: 419–431.
- Steinacker, C., Beierkuhnlein, C. & Jaescheke, A. (2019) Assessing the exposure of forest habitat types to projected climate change—Implications for Bavarian protected areas. *Ecology and Evolution* 9: 14417–14429.
- Stevens, V. M., Trochet, A., Van Dyck, H., Clobert, J. and Baguette, M. (2012) How is dispersal integrated in life histories: a quantitative analysis using butterflies. *Ecology Letters*, 15: 74–86.
- Stoutjesdijk, P. & Barkman, J.J. (1992) Microclimate, vegetation and fauna. Opulus Press, Knivsta.
- Ström, L., Jansson, R., Nilsson, C., Johansson, M. & Xiong, S. (2011) Hydrologic effects on riparian vegetation in a boreal river: an experiment testing climate change predictions. *Global Change Biology* 17: 254–267.
- Ström, L., Jansson, R. & Nilsson, C. (2012) Projected changes in plant species richness and extent of riparian vegetation belts as a result of climate-driven hydrological change along the Vindel River in Sweden. *Freshwater Biology* 57: 49–60.
- Suggitt, A.J., Wilson, R.J., Isaac, N.J.B., Beale, C.M., Auffret, A.G., August, T., Bennie, J.J., Crick, H.Q.P., Duffield, S., Fox, R., Hopkins, J.J., Macgregor, N.A., Morecroft, M.D., Walker, K.J. & Maclean, I.M.D. (2018) Extinction risk from climate change is reduced by microclimatic buffering. *Nature Climate Change* 8: 713–717.
- Suomalainen, M., Vehviläinen, B., Veijalainen, N., Lepistö, A. & Mäkinen, R. (2006) Effects on the hydrological cycle – inland waters. Ss. 5–12 teoksessa Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., Arosilta, A., Dubrovin, T., Jormola, J., Keskisarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen, R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Salmakorppe, I., Suomalainen, M. & Veijalainen, N.: Climate change adaptation for hydrology and water resources. FINADAPT Working Paper 6. Finnish Environment Institute, Helsinki. Finnish Environment Institute Mimeographs 336.
- Suomen metsäkeskus (2017) Talousmetsien luonnonhoidon laadunarviointi. Suomen metsäkeskus. 51 s.
- Suomen ympäristökeskus, Vesikeskus (2018) Roudan ja lumen vuosittainen maksimisyvyys kolmella routa-aseamalla Lapissa: Inarin Angeli, ja Nellim sekä Utsjoen Kevo. Mittaukset 1971–2018.
- Sutinen, R., Närhi, P., Middleton, M., Kuoppamaa, M., Juntunen, V., Hyvönen, E., Hänninen, P., Teirilä, A., Päänttjä, M., Neuvonen, S., Äikää, O., Piekkari, M., Timonen, M. & Sutinen, M.-L. (2011) Geological controls on subarctic conifer distribution. Ss. 315–325 teoksessa Nenonen, K. & Nurmi, P. A. (toim.): Geoscience for Society. 125th Anniversary Volume. Geological Survey of Finland, Special Paper 49.
- Sutinen, R., Närhi, P., Middleton, M., Hänninen, P., Timonen, M. & Sutinen, M.-L. (2012) Advance of Norway spruce (*Picea abies*) onto mafic Lommolunturi fell in Finnish Lapland during the last 200 years. *Boreas* 41: 367–378.
- Svensson, B.M., Carlsson, B.A. & Melillo, J.M. (2018) Changes in species abundance after seven years of elevated atmospheric CO₂ and warming in a subarctic birch forest understorey, as modified by rodent and moth outbreaks. *PeerJ* 6: e4843.

- Swedish Commission on Climate and Vulnerability (2007) Sweden facing climate change – treats and opportunities. Swedish Government Official Reports SOU 2007: 60. 679 s.
- Swindles, G.T., Morris, P.J., Mullan, D.J. et al. [38 kirjoittajaa] (2019) Widespread drying of European peatlands in recent centuries. *Nature Geoscience* 12:922–928.
- Sætersdal, M. & Birks, H.J.B. (1997) A Comparative Ecological Study of Norwegian Mountain Plants in Relation to Possible Future Climatic Change. *Journal of Biogeography* 24: 127–152.
- Söyrinki, N. & Saari, V. (1980) Die Flora in Nationalpark Oulanka, Finnland. *Acta Botanica Fennica* 114: 1–150.
- Tahvanainen, T. (2011) Abrupt ombrotrophication of a boreal aapa mire triggered by hydrological disturbance in the catchment. *Journal of Ecology* 99: 404–415.
- Tainio, A., Heikkinen, R.K., Heliölä, J., Hunt, A., Watkiss, P., Fronzek, S., Leikola, N., Lötjönen, S., Mashkina, O. & Carter, T.R. (2016) Conservation of grassland butterflies in Finland under a changing climate. *Regional Environmental Change* 16: 71–84.
- Takolander, A., Cabeza, M. & Leskinen, E. (2017) Climate change can cause complex responses in Baltic Sea macroalgae: A systematic review. *Journal of Sea Research* 123: 16–29.
- Thomas, S.M., Griffiths, S.W. & Ormerod, S.J. (2016) Beyond cool: adapting upland streams for climate change using riparian woodlands. *Global Change Biology* 22: 310–324.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Sykes, M.T., Araújo, M.B. & Prentice, I.C. (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 8245–8250.
- Tiainen, J., Mikkola-Roos, M., Below, A., Jukarainen, A., Lehtikoinen, A., Lehtiniemi, T., Pessa, J., Rajasärkkä, A., Rintala, J., Sirkiä, P. & Valkama, J. (2016) Suomen lintujen uhanalaisuus 2015 – The 2015 Red List of Finnish Bird Species. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. 49 s.
- Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H. & Venäläinen, A. (2010) Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *International Journal of Climatology*, 30, 2247–2256.
- Tonteri, T., Ahlroth, P., Hokkanen, M., Lehtelä, M., Alanen, A., Hakalisto, S., Kuuluvainen, T., Soininen, T. & Virkkala, R. (2008) Metsät. Ss. 111–132 teoksessa Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus - Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 8/2008.
- Tranvik, L.J., Downing, J.A., Cotner, J.B., Loiselle, S.A., Striegl, R.G., Ballatore, T.J., Dillon, P., Finlay, K., Fortino, K., Knoll, L.B., Kortelainen, P.L., Kutser, T., Larsen, S., Laurion, I., Leech, D.M., McCallister, L., McKnight, D.M., Melack, J.M., Overholt, E., Porter, J.A., Prairie, Y., Renwick, W.H., Roland, F., Sherman, B.S., Schindler, D.W., Sobek, S., Tremblay, A., Vanni, M.J., Verschoor, A.M., von Wachenfeldt, E. & Weyhenmeyer, G.A. (2009) Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography* 54: 2298–2314.
- Tuomenvirta H., Haavisto R., Hildén M., Lanki T., Luhtala S., Meriläinen P., Mäkinen K., Parjanne A., Peltonen-Sainio P., Pilli-Sihvola K., Pöyry J., Sorvali J., Veijalainen N. (2018) Sää- ja ilmatoriskit Suomessa - Kansallinen arvio. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja, 43/2018.
- Turunen, J., Vähäkuopus, T. & Valpola, S. (2019) Suot hiilinieluina ja -lähteinä – miksi tulisi olla kiinnostunut? Geo katse, Geologisia kirjoituksia ja kannanottoja. GTK. 4.7.2019
- Turunen, M., Mikkola, K., Neuvonen, S., Johansson, P., Anttonen, M., Norokorpi, Y., Saikkonen, A. & Mäkelä, K. (2018) Suomen tunturiluonto ja ilmastomuutos. Ss. 287–298 teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.): Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018.
- Turunen, M.T., Rasmus, S., Bavy, M., Ruosteenoja, K. & Heiskanen, J. (2016) Coping with difficult weather and snow conditions: reindeer herders' views on climate change impacts and coping strategies. *Climate Risk Management* 11: 15–36.
- Tynys, T. & Stolt, E. (toim.) (2004) Kaldoaivin erämaa-alueen ja Sammuttijängän–Vaijoenjärgän soijensuojelualueen luonto, käyttö ja paikannimistö. Metsähallitus, Vantaa. Metsähallituksen luonnon-suojelujulkaisuja, Sarja A 144. 345 s.
- Uimari, A., Heliövaara, K., Tuba, K., Poteri, M. & Vuorinen, M. (2018) Occurrence of the moth *Cydia pactolana* is associated with the spruce canker fungus *Neonectria fuckeliana*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33: 529–534.
- Ummenhofer, C.C. & Meehl, G.A. (2016) Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review. *Phil. Trans. R. Soc. B* 372, 20160135.
- Valtonen, A., Ayres, M. P., Roininen, H., Pöyry, J. & Leinonen, R. (2011) Environmental controls on the phenology of moths: Predicting plasticity and constraint under climate change. *Oecologia* 165, 237–248.
- van der Linde, S., Suz, L.M., Orme, C.D.L., Cox, F., Andreae, H., Asi, E., Atkinson, B., Benham, S., Carroll, C., Cools, N., De Vos, B., Dietrich, H.-P., Eichhorn, J., Gehrmann, J., Grebenc, T., Gweon, H.S., Hansen, K., Jacob, F., Kristöfel, F., Lech, P., Manninger, M., Martin, J., Meesenburg, H., Merilä, P., Nicolas, M., Pavlenda, P., Rautio, P., Schaub, M., Schröck, H.-W., Seidling, W., Šrámek, V., Thimonier, A., Thomsen, I.M., Titeux, H., Vanguelova, E., Verstraeten, A., Vesterdal, L., Waldner, P., Wijk, S., Zhang, Y., Žilindra, D. & Bidartondo, M.I. (2018) Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi. *Nature* 558: 243–248.

- van der Meulen, F., Heil, G. & Koojman, A.M. (1994) Impact of climate change on coastal dune ecosystems. Ss. 73–94 teoksessa Pernetta, J., Leemans, R., Elder, D. & Humphrey, S. (toim.) Impacts of climate change on ecosystems and species: Marine and coastal ecosystem. A Marine Conservation and Development Report. IUCN, Gland, Switzerland.
- Vanhala, H. & Lintinen, P. (2009) Ikiroudan mallinnus geofysikaalisin mittauksin – Tutkimukset Ridnitsohkkalla elokuussa 2008. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. Arkistoraportti Q16.2/2009/13.
- Vanhanen, H., Veteli, T.O., Päivinen, S., Kellomäki, S. & Niemelä, P. (2007) Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth – a model study. *Silva Fennica* 41: 621–638.
- van Herk, C. M., Aptroot, A. & van Dobben, H. F. (2002) Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist* 34: 141–154.
- van Vuuren, M.M.L., Robinson, D., Fitter, A.H., Chaselow, S.D. Williamson, L. & Raven, J.A. (1997) Effects of elevated atmospheric CO₂ and soil water availability on root biomass, root length, and N, P and K uptake by wheat. *New phytologist* 135: 455–465.
- van Wijk, R. E., Bauer, S. & Schaub, M. (2016) Repeatability of individual migration routes, wintering sites, and timing in a long-distance migrant bird. *Ecology and Evolution* 6: 8679–8685.
- Veijalainen, N., Lotsari, E., Alho, P., Vehviläinen, B., Käyhkö, J. (2010) National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology* 391: 333–350.
- Venugopal, P., Junninen, K., Linnakoski, R., Edman, M. & Kouki, J. (2016) Climate and wood quality have decayer-specific effects on fungal wood decomposition. *Forest Ecology and Management* 360: 341–351.
- Venäläinen, A., Lehtonen, I. & Mäkelä, A. (2016) Laaja-alaisia metsäpaloja mahdollistavat säätilanteet Suomen ilmastossa. Ilmatieteen laitos, Raportteja 3/2016: 1–30.
- Verkerk, P.J., Lindner, M., Zanchi, G. & Zudin, S. (2011) Assessing impacts of intensified biomass removal on deadwood in European forests. *Ecological Indicators* 11: 27–35.
- Vermaat, J.E., Hellmann, F.A., van Teeffelen, A.J.A., van Minnen, J., Alkemade, R., Billeter, R., Beierkuhnlein, L.B., Cabeza, M., Feld, C.K., Huntley, B., Paterson, J. & WallisDeVries, M.F. (2017) Differentiating the effects of climate change and land use change on European biodiversity: A scenario analysis. *Ambio* 46: 277–290.
- Vestergaard, P. (1991) Morphology and vegetation of a dune system in SE Denmark in relation to climate change and sea level rise. *Landscape Ecology* 6: 77–87.
- Vestergaard, P. (1997) Possible impact of sea-level rise on some habitat types at the Baltic coast of Denmark. *Journal of Coastal Conservation* 3: 103–112.
- Viiri, H., Ahola, A., Ihalainen, A., Korhonen, K.T., Muinonen, E., Parikka, H. & Pitkänen, J. (2011) Kesän 2010 myrskytuhot ja niistä seuraava hyönteistuhoriski. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2011: 221–225.
- Virkkala, R. & Lehikoinen, A. (2017) Birds on the move in the face of climate change: High species turnover in northern Europe. *Ecology and Evolution* 7: 8201–8209.
- Virkkala, R., & Rajasärkkä, A. (2012) Preserving species populations in the boreal zone in a changing climate: Contrasting trends of bird species groups in a protected area network. *Nature Conservation*, 3, 1–20.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Fronzek, S. & Leikola, N. (2013a) Climate change, northern birds of conservation concern and matching the hotspots of habitat suitability with the reserve network. *PLoS ONE* 8: e63376.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Leikola, N. & Luoto, M. (2008) Projected large-scale range reductions of northern-boreal land bird species due to climate change. *Biological Conservation* 141: 1343–1353.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Fronzek, S., Kujala, H. & Leikola, N. (2013b) Does the protected area network preserve bird species of conservation concern in a rapidly changing climate? *Biodiversity and Conservation* 22: 459–482.
- Virkkala, R., Pöyry, J., Heikkinen, R.K., Lehikoinen, A. & Valkama, J. (2014) Protected areas alleviate climate change effects on northern bird species of conservation concern. *Ecology and Evolution* 4: 2991–3003.
- Virtanen, R., Luoto, M., Rämä, T., Mikkola, K., Hjort, J., Grytnes, J.-A. & Birks, H.J.B. (2010) Recent vegetation changes at the high-latitude tree line ecotone are controlled by geomorphological disturbance, productivity and diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19: 810–821.
- Virtanen, T. & Neuvonen, S. (1999) Performance of moth larvae on birch in relation to altitude, climate, host quality and parasitoids. *Oecologia* 120: 92–101.
- Virtanen, T., Neuvonen, S. & Nikula, A. (1998) Modelling topoclimatic patterns of egg mortality of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae) with a geographical information system: predictions for current climate and warmer climate scenarios. *Journal of Applied Ecology* 35: 311–322.
- Virtanen, T., Neuvonen, S., Niemelä, P., Nikula, A. & Varama, M. (1996) Climate change and the risks of *Neodiprion sertifer* outbreaks on Scots pine. *Silva Fennica* 30: 169–177.
- Vowles, T. & Björk, R.G. (2018) Implications of evergreen shrub expansion in the Arctic. *Journal of Ecology* 107: 650–655.
- Vrezec, A., Ambrožič, S., Kobler, A., Kapla, A. & de Groot, M. (2017) *Cucujus cinnaberinus* (Scopoli, 1763) at its terra typica in Slovenia: historical overview, distribution patterns and habitat selection. *Nature Conservation* 19: 191–217.

- Vuorinen, I., Hänninen, J., Rajasilta, M., Laine, P., Eklund, J., Montesino-Pouzols, F., Corona, F., Junker, K., Meier, H.E.M. & Dippner, J.W. (2015) Scenario simulations of future salinity and ecological consequences in the Baltic Sea and adjacent North Sea areas – implications for environmental monitoring. *Ecological Indicators* 50: 196–205.
- Vuorinen, K.E.M., Oksanen, L., Oksanen, T., Pyykönen, A., Olofsson, J. & Virtanen, R. (2017) Open tundra persist, but arctic features decline – Vegetation changes in the warming Fennoscandian tundra. *Global Change Biology* 23: 3794–3807.
- Välimäki, P. (2017) Tunturiperhosseurannan ja Xestia-seurannan tuloksia ja suuntaviivoja. Esitelmä Hyönteisviikonlopussa 23.4.2017, Helsinki.
- Välranta, M., Salojärvi, N., Vuorsalo, A., Juutinen, S., Korhola, A., Luoto, M. & Tuittila, E.-S. (2017) Holocene fen–bog transitions, current status in Finland and future perspectives. *The Holocene* 27: 752–764.
- Wallenius, T.H. (1999) Yield variations of some common wild berries in Finland in 1956–1996. *Annales Botanici Fennici* 36: 299–314.
- Wallenius, T. (2008) Menneet metsäpalot Kalevalan kankailla. *Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja A* 176: 1–46.
- Wallenius, T. (2011) Major decline in fires in coniferous forests - reconstructing the phenomenon and seeking for the cause. *Silva Fennica* 45: 139–155.
- WallisDeVries, M.F. (2014) Linking species assemblages to environmental change: Moving beyond the specialist-generalist dichotomy. *Basic and applied ecology* 15: 279–287.
- WallisDeVries, M.F. & van Swaay, C.A.M. (2006) Global warming and excess nitrogen may induce butterfly decline by microclimatic cooling. *Global Change Biology* 12: 1620–1626.
- Wannas, L. (2009) Petollinen kaunotar – Neidonkengän (Calypso bulbosa) pölytys ja suojelu. Pro gradu -tutkielma. Biologian laitos, Oulun yliopisto. 50 s.
- Washington Department of Fish and Wildlife (2015) Washington's state wildlife action plan. 2015 Update. [<https://wdfw.wa.gov/publications/01742/>; viitattu 15.12.2019]
- Werth, S. (2011) Biogeography and phylogeography of lichen fungi and their photobionts. Ss. 191–208 teoksessa: Fontaneto, F. (toim.): *Biogeography of microscopic organisms. Is everything small everywhere?* Cambridge University Press, Cambridge.
- Weslien, J. (1992) The arthropod complex associated with *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae): species composition, phenology, and impact on bark beetle productivity. *Entomologica Fennica* 3: 205–213.
- Weslien, J., Finér, L., Jónsson, J.A., Koivusalo, H., Laurén, A., Ranius, T. & Sigurdsson, B.D. (2009) Effects of increased forest productivity and warmer climates on carbon sequestration, run-off water quality and accumulation of dead wood in a boreal landscape: A modelling study. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24: 333–347.
- Wheatley, C.J., Beale, C.M., Bradbury, R.B., Pearce-Higgins, J.W., Critchlow, R., Thomas, C.D. (2017) Climate change vulnerability for species - Assessing the assessments. *Global Change Biology* 23: 3704–3715.
- Wignall, R.M.L., Gordon, J.E., Brazier, V., MacFadyen, C.C.J. & Everett, N.S. (2018) A qualitative risk assessment for the impacts of climate change on nationally and internationally important geoheritage sites in Scotland. *Proceedings of the Geologists' Association* 129: 120–134.
- Wrona, F.J., Prowse, T.D., Reist, J.D., Hobbie, J.E., Levesque, L.M.J. & Vincent, W.F. (2006) Climate Change Effects on Aquatic Biota, Ecosystem Structure and Function. *Ambio* 35: 359–369.
- Ympäristöministeriö (2019). 6th National Report for the Convention on Biological Diversity. [<https://chm.cbd.int/database/record?documentID=243215>]
- Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus (2019) Luontodirektiivin (92/43/ETY) artiklan 17 mukainen raportointi kaudelta 2013–2018; luontotyyppit. Suomen esitys EU:n komissiolle. [Eri maiden yhteenvedot: <https://www.eea.europa.eu/themes/biodiversity/state-of-nature-in-the-eu/article-17-national-summary-dashboards>; viitattu 15.12.2019]
- Yu, Z. C. (2012) Northern peatland carbon stocks and dynamics: A review. *Biogeosciences*, 9: 4071–4085.
- Zeiter, M., Scharrer, S., Zweifel, R., Newbery, D.M. & Stampfli, A. (2016) Timing of extreme drought modifies reproductive output in semi-natural grassland. *Journal of Vegetation Science* 27: 238–248.
- Zhu, W., Tian, H., Xu, X., Pan, Y., Chen, G. & Lin, W. (2012) Extension of the growing season due to delayed autumn over mid and high latitudes in North America during 1982–2006. *Global Ecology and Biogeography* 21: 260–271.
- Zuidhoff, F. S. & Kolstrup, E. (2000) Changes in palisade distribution in relation to climate change in Låvadal, northern Sweden, especially 1960–1997. *Permafrost and Periglacial Processes* 11: 55–69.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) (2014) *Metsänhoidon suositukset*. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 180 s.
- Økland, B. & Bjørnstad, O.N. (2006) A resource-depletion model of forest insect outbreaks. *Ecology* 87: 283–290.
- Økland, B., Krokene, P. & Lange, H. (2012) Effects of climate change on the spruce bark beetle. *ScienceNordic*. 1–5. [<http://sciencenordic.com/effects-climate-change-spruce-bark-beetle>; viitattu 15.12.2019]

LIITTEET

Liite I. Putkilokasvit ilmaston muuttuessa

SISÄLLYS

I Putkilokasvit ja ilmastonmuutos	142
1.1. Menetelmät.....	142
1.2. Ilmastonmuutoksen vaikutusten tutkiminen putkilokasveilla.....	143
1.3. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia putkilokasveihin	144
1.4. Epävarmuudet ilmastonmuutoksen vaikutusten arvioinnissa.....	146
1.5. Suositukset putkilokasvien turvaamiseksi ilmastonmuutoksen vaikutuksilta.....	147
2 Ilmastonmuutos ja luontodirektiivin liitteiden II ja IV putkilokasvit	148
2.1. Luontodirektiivin putkilokasvien lajiominaisuudet.....	148
2.2. Luontodirektiivin kasvien elinympäristöjen muuttuminen ja hoitotarve ilmastonmuutoksen myötä	155
3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset luontodirektiivin liitteiden II ja IV putkilokasveihin – lajikohtainen tarkastelu	160
3.1. Idänverijuuri (<i>Agrimonia pilosa</i>)	160
3.2. Upossarpio (<i>Alisma wahlenbergii</i>)	161
3.3. Lapinhilpi (<i>Arctagrostis latifolia</i>)	161
3.4. Pikkupohjansorsimo (<i>Arctophila fulva</i> var. <i>pendulina</i>)	163
3.5. Tunturiarho (<i>Arenaria pseudofrigida</i>)	164
3.6. Perämerenketomaruna (<i>Artemisia campestris</i> subsp. <i>bottnica</i>)	164
3.7. Serpentiiniraunioinen (<i>Asplenium adulterinum</i>)	165
3.8. Pikkunoidanlukko (<i>Botrychium simplex</i>)	166
3.9. Neidonkenkä (<i>Calypso bulbosa</i>)	167
3.10. Tundrasara (<i>Carex holostoma</i>).....	168
3.11. Hajuheinä (<i>Cinna latifolia</i>).....	169
3.12. Lapinleinikki (<i>Coptidium lapponicum</i>).....	169
3.13. Pahtaketokeltto (<i>Crepis tectorum</i> subsp. <i>nigritula</i>).....	170
3.14. Lehtotikankontti (<i>Cypripedium calceolus</i>).....	171
3.15. Taigamyyränporras (<i>Diplazium sibiricum</i>).....	172
3.16. Idänkynsimö (<i>Draba cinerea</i>).....	173
3.17. Tuoksualvejuuri (<i>Dryopteris fragrans</i>).....	173
3.18. Teodoriinpihlaja (<i>Hedlundia teodori</i>)	174
3.19. Nelilehtivesikuusi (<i>Hippuris tetraphylla</i>)	175

3.20. Kiiltovalkku (<i>Liparis loeselii</i>).....	176
3.21. Laaksoarho (<i>Moehringia lateriflora</i>).....	176
3.22. Notkeanäkinruoho (<i>Najas flexilis</i>)	177
3.23. Hentonäkinruoho (<i>Najas tenuissima</i>)	179
3.24. Lietetatar (<i>Persicaria foliosa</i>)	179
3.25. Pikkulehdokki (<i>Platanthera oligantha</i>)	180
3.26. Ruijannuokkuesikko (<i>Primula nutans</i> subsp. <i>finmarchica</i>)	181
3.27. Rönsysorsimo (<i>Puccinellia phryganodes</i>)	182
3.28. Hämeenkylmänkukka (<i>Pulsatilla patens</i>)	184
3.29. Lettorikko (<i>Saxifraga hirculus</i>)	185
3.30. Pohjankehtoailakki (<i>Silene involucrata</i> subsp. <i>tenella</i>)	186
3.31. Lapinkaurake (<i>Trisetum subalpestre</i>).....	187
3.32. Pahtahietaorvokki (<i>Viola rupestris</i> subsp. <i>relicta</i>)	188
4 Muu tarkastelussa mukana ollut lajisto	189
4.1. Uhanalaiset lajit, joille ilmastonmuutos on ensisijainen uhka	189
4.2. Uhanalaiset lajit, joille ilmastonmuutos on toissijainen uhka.....	190
4.3. Pohjoiset uhanalaiset lajit, joilla on eteläisiä erillisesiintymiä	192
4.4. Muut uhanalaiset, silmälläpidettävät tai elinvoimaiset lajit, joille ilmastonmuutos voi olla uhka	192
Kirjallisuus	195

1 Putkilokasvit ja ilmastonmuutos

Eija Kemppainen

I.I.

Menetelmät

Tässä yhteenvedossa arvioidaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia putkilokasvien menestymiseen Suomessa, etenkin arktisella alueella. Putkilokasveista tarkasteltiin sellaisia lajiominaisuuksia, joilla on vaikutuksia niiden mahdollisuuksiin säilyä nykyisillä kasvupaikoillaan tai saavuttaa uusia kasvupaikkoja ilmastonmuutoksen edetessä. Tietoja koottiin etupäässä tieteellisistä artikkeleista. Niistä kerättyjä tietoja lajien biologiasta, ekologiasta ja sopeutumisesta ilmastonmuutokseen täydennettiin kotimaisista kasvioista ja muista lähteistä, muun muassa Uhanalaisten kasvien seurantaoppaasta (Syrjänen & Rytteri 1998). Ilmastonmuutoksen vaikutuksista putkilokasveihin on kerrottu aiemmin (mm. Vuorinen 2016), ja useita tuoreita tutkimuksia aiheesta on julkaistu viime vuosina myös Suomessa (mm. Niittynen & Luoto 2017; Niskanen ym. 2017a; 2017b; 2017c; 2019; Niskanen 2018). Kooste ilmastonmuutoksen vaikutuksesta putkilokasveihin on tämän raportin luvussa 2.2.2.3.

Tarkastelu tehtiin vuoden 2010 uhanalaisuusarvioinnin mukaisesti: arvioinnissa otettiin huomioon lajien uhanalaisuus ja ilmastonmuutos uhkatekijänä (Rassi ym. 2010). Uhanalaisuusluokat, elinympäristöt ja uhkatekijät päivitettiin myöhemmin tuoreimman uhanalaisuusarvioinnin (Hyvärinen ym. 2019) mukaisiksi. Selvityksessä käytettiin uusittua putkilokasvien nimestöä. Sekä tieteelliset että suomenkieliset nimet päivitettiin Luomuksen laji.fi-portaalin mukaisiksi syyskuussa 2019. Taulukoissa mainitut kasvien kukinta-ajat ovat Retkeilykasviosta (Hämet-Ahti ym. 1998).

Levinneisyys- ja esiintymisalueen koko sekä populaatiokoko arvioitiin uhanalaisuusarvioinnin valmistelun yhteydessä keväällä 2018. Levinneisyysalueen kokoa arvioitiin pääasiassa ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmän Eliölajit-osioon tallennettujen olemassa oleviksi tai epävarmoiksi arvioitujen havaintopaikkojen perusteella. Esiintymisalueen koko arvioitiin olemassa oleviksi arvioitujen havaintopaikkojen perusteella IUCN:n ohjeiden mukaisesti.

Tiedot lajien suojelutilanteesta koottiin Eliölajit-tietokannan paikkatietojen poiminnasta, joka oli tehty 7.1.2018. Suojelutilanne laskettiin Eliölajit-tietokantaan tallennettujen olemassa oleviksi arvioitujen havaintopaikkojen perusteella: suojeltujen paikkojen osuus kaikista olemassa oleviksi arvioituista paikoista. Kaikki luontodirektiivin lajien Natura 2000 -alueilla olevat esiintymät ovat mukana suojelluissa paikoissa. Muilla kuin luontodirektiivin lajeilla suojelluissa ovat Natura 2000 -alueilta mukana vain luonnonsuojelulailla suojellut kohteet.

Luontodirektiivin kasvien tilannetta tarkasteltiin yksityiskohtaisimmin, tuloksia on kirjattu tämän liitteen lukuun 2 ja lajikohtaisesti lukuun 3. Tiedot luontodirektiivin lajien suojelutasosta noudattavat luontodirektiivin artikla 17 mukaisen raportoinnin tuloksia EU:lle kausilta 2007–2012 ja 2013–2018.

Ilmastomuutoksen vaikutusten tutkiminen putkilokasveilla

Fysiologisiin tekijöihin, kuten lämpötilaan, kosteuteen, hiilidioksidipitoisuuteen (CO₂), happamuuteen (pH) tai suolapitoisuuteen liittyvät herkkyydet aiheuttavat ilmastomuutoksen suoria vaikutuksia lajien kukintaan, siementuottoon, itävyyteen ja taimettumiseen. Muutokset voivat olla sekä myönteisiä että kielteisiä. Esimerkiksi hiilidioksidin lisääntyminen voi tehostaa veden ottoa ja siten eliminoida kuivumisen vaikutukset, ja sillä voi olla vaikutusta myös lajien kilpailusuhteisiin. Usein lajin herkkyys on yhteydessä elinympäristön muutoksiin, kuten kuivuuteen, lumen määrään tai merenpinnan noususta aiheutuviin kasvupaikkojen muutoksiin. Herkkyydet voivat liittyä myös ekologisiin yhteyksiin muihin lajeihin, kuten kasvinsyöjiin eli herbivoreihin, kilpailijoihin, vieraslajeihin tai sienijuurisieniin eli mykorritsoihin (McCarty 2001; Parmesan 2006; Glick & Stein 2010).

Erilaiset mallinnukset auttavat ymmärtämään ilmastomuutoksen vaikutuksia. Niitä ei kuitenkaan sellaisenaan voi käyttää ennusteina. Lajien levinneisyys, morfologia tai elomuoto eivät yksinään ennusta säilymistä ilmastomuutoksessa, koska lajien kasvupaikkavaatimukset ja biologiset ominaisuudet ovat yleensä niitä merkityksellisempiä (Lesica ym. 2004). Eri tutkimuksissa käytettyjä lajiominaisuuksia ja ympäristömuuttujia, joita on käytetty arvioitaessa ilmastomuutoksen vaikutuksia putkilokasveihin, on esitetty oheisessa tietolaatikossa.

Eri tutkimuksissa käytettyjä lajiominaisuuksia ja ympäristömuuttujia arvioitaessa ilmastomuutoksen vaikutuksia putkilokasveihin

Putkilokasvien kannalta tärkeitä lajiominaisuuksia ovat (Pacifi ym. 2015)

- lisääntymiskyky, kuten siementuotto sekä siementaimien synty ja vakiintuminen
- siementen säilyvyys maaperän siemenpankissa
- leviämisen- ja kolonisaatiokyky, kuten siementen leviämismahdollisuudet ja kasvullinen levittäytyminen
- populaatioiden kasvunopeus
- kuolleisuus elinkierron eri vaiheissa
- lajin pitkä- tai lyhytikäisyys: pitkäikäisillä on paremmat mahdollisuudet säilyä uusilla paikoilla
- fenologia
- riippuvuus lajien välisistä interaktioista: mm. pölyttäjät, herbivorit, mykorritsasienet, siemeniä levittävät eläimet, muiden kasvien kilpailu.

Putkilokasvien kannalta tärkeitä ympäristömuuttujia ovat (Guisan & Theurillat 2001)

- lämpötila (esim. alhaiset yölämpötilat vaikuttavat kasvuun, korkeat päivälämpötilat heikentävät menestymistä aiheuttaen kuivuutta),
- talviset sateet (vaikuttavat lumipeitteen korkeuteen ja kevään lumen sulamisesta aiheutuvaan kosteuteen; maaperän kosteus on usein määrävä tekijä sekä laji- että lajiyhteisötasolla),
- auringon säteily (vaikuttaa fotosynteesiin),
- rinteiden suunta (vaikuttaa mikroilmastoon ja mm. lumipeitteen säilymiseen),

- topografia (paikalliset vaihtelut, jotka vaikuttavat mm. tuuleen, mikroilmastoon ja lumipeitteeseen; elinympäristön mosaiikki tärkeää),
- geologia (vaikuttaa kasvien kasvuun ja sijoittumiseen alueelle),
- mikroilmasto (vaikuttaa kasvuun ja kehittymiseen),
- lumipeite (määrittää kasvukauden),
- geomorfologia (kuten kalliot, louhikot),
- hydrologia (purot, valuedet, lähteet, suot),
- jäätikön vaikutukset (routa, jääkauden reliktit),
- luonnon häiriöt (lumivyöryt, tulvat, eläinten kaivaukset),
- ihmisen aiheuttamat häiriöt (mm. laidunnus).

Arvioidessaan putkilokasvien lajien käyttäytymistä muuttuvassa ilmastossa Norjassa Saetersdal ja Birks (1997) käyttivät seuraavia tietoja

- elinympäristön laatu
- maaperävaatimukset
- kosteusolosuhteet kasvupaikoilla
- kasvupaikkojen korkeusolot
- levinneisyys maailmanlaajuisesti, Euroopassa ja kansallisesti
- kasvupaikkojen ilmasto-olot
- siementen leviämismekanismit
- elinkierto
- kilpailijoiden vaikutukset eri elämänsyklien vaiheissa
- lumipeitteen merkitys
- suvuttoman lisääntymisen merkitys
- populaatiokoko

1.3.

Ilmastomuutoksen vaikutuksia putkilokasveihin

Seuraavassa on putkilokasveja koskevista julkaisuista koottuja tärkeimpiä tekijöitä, joilla on merkitystä kasvilajien herkkyyteen ja säilymiseen muuttuvassa ilmastossa. Lähes kaikki eri tutkimuksissa havaitut muutokset ovat olleet odotetun suuntaisia (Root ym. 2003). Kosteus ja lämpö ovat muutosten tärkeimmät selittäjät (Thuiller ym. 2005). Ilmastomuutoksen vaikutukset kuitenkin vaihtelevat kasvillisuustyypeittäin ja paikoittain, joten yksityiskohtaisia ennusteita muutoksista on vaikea tehdä.

Muutoksen nopeus: Ilmastomuutoksen vaikutukset tulevat seuraavien 100 vuoden kuluessa olemaan samaa suuruusluokkaa kuin viimeisen jääkauden jälkeen tapahtuneet muutokset nykyaikaan tultaessa (Callaghan ym. 2004). Muutoksen nopeus on ongelmallinen monille pohjoisille putkilokasveille, jotka ovat yleensä pitkäikäisiä ja sopeutumiskyvyltään huonoja. Roudan sulaessa ja ilmaston lämmitessä eteläisen kasviston siirtyminen pohjoiseen ja kilpailullisesti vahvojen lajien runsastuminen voi olla nopeaa. Metsänrajan nousu tai pensaiden kasvaminen puiksi metsänrajalla muuttaa koko eliöyhteisön (mm. Vuorinen 2016).

Lämpötilan nousu: Vain harvat kasvit kärsivät suoraan ilmastomuutoksen aiheuttamasta lämpenemisestä. Kesäinen lämmön nousu jopa hyödyttää monen lajin kukintaa ja siementuottoa, ne kukkivat paremmin ja tuottavat runsaammin siemeniä kuin viileässä (mm. Klady ym. 2011; Ignatavicius & Toleikiene 2017). Lämmön nousu kuitenkin lisää kuivuutta ja altistaa herkän siementaimivaiheen ääreville olosuhteille. Lämmön lisääntymisen ja kasvukauden pidentymisen seurauksena kasvien kasvu nopeutuu. Kasvillisuuden lisääntyminen tarjoaa ravintoa muille lajeille, muuttaa

routaolosuhteita ja toimii hiilinieluna. Lämpötilan nousu myös lisää kilpailua muiden lajien kanssa ja heikentää heikkojen kilpailijoiden elinmahdollisuuksia. Kasvillisuuden lisääntymisestä aiheutuva elinympäristöjen rehevöityminen ja umpeenkasvu ovatkin monen lajin ensisijainen uhkatekijä. Talvella tapahtuvat äkilliset lämpötilan nousut voivat olla kasveille tuhoisia.

Lämpötilan nousu voi aiheuttaa muutoksia lajien fenologiassa. Selvin muutos on tapahtunut varhain kukkivilla kasveilla, joiden kukinnan aikaistumiseen vaikuttavat lähinnä kevään (maaliskuu) lämpötila ja joulutammikuun sateet (Lesica & Kittelson 2010). Kasvien kukinta-ajat ovat jo aikaistuneet kaikkialla Pohjois-Amerikassa (Glick & Stein 2010). Jos kukinta aikaistuu liikaa, ovat kukintaansa aloittelevat kasvit herkkiä keväisille halloille, ja vuoden koko siementuotto on vaarassa tuhoutua. Ilmiö on havaittu etenkin hämeenkylmänkukalla (*Pulsatilla patens*) Kanadassa (Beaubien & Hamann 2011). Toisaalta jos talvisateet tulevat lumena, lumipeite voi paksuuntua ja kasvukauden alku voi myöhentyä. Bornerin ym. (2008) mukaan lumipeitteen paksuuntumisen vaikutukset kasvien kehitykseen ovat kuitenkin vähäiset, suurempi vaikutus sillä on ravinteiden, etenkin typen kierto. Pohjois-Amerikan pohjoisosissa todettiin kasvukauden pidentyneen myös loppukesästä aikavälillä 1982–2006 (Zhu ym. 2012). Talvehtimisen viivästyminen oli merkittävintä pensaikkosissa habitaateissa.

Ilmaston muuttuessa herkimpiä häviämään ovat sellaiset levinneisyydeltään vuoristoihin rajoittuneet kasvit, joilla on suppea levinneisyysalue (Guisan & Theurillat 2001; Thuiller ym. 2005; Parmesan 2006). Borealisella alueella muutoksia on odotettavissa vähemmän. Monilla eri korkeus- ja ilmastovyöhykkeillä esiintyvät lajit ovat kestävimpiä. Herkätkin lajit voivat säilyä sopivilla paikoilla, mutta pitkän aikavälin säilyminen voi vaarantua, jos osapopulaatiot pirstoutuvat liian pieniksi. Häviämisaarassa ovat sellaiset lajit, joiden kesä- ja talvilämpötilojen optimit ovat alhaiset, toleranssi kapea, ja joiden levinneisyysalueet ovat suppeita ja populaatiokoot pieniä (Saetersdal ja Birks 1997). Nämä ovat usein kansallisesti harvinaisia lajeja. Saetersdal ja Birks (1997) jakavat tunturilajit kahteen ryhmään: lajeihin, jotka sietävät monenlaisia ilmasto-oloja, mutta eivät siedä eteläisten voimakkaiden lajien kilpailua, ja yleensä hidaskasvuisiin lajeihin, jotka vaativat kylmän ilmaston. Kilpailua sietävät hitaasti kasvavat lajit, joilla ei ole lämpötilarajoitteita, selviävät tuntureilla myös ilmastonmuutoksen seurauksena. Kasvien kannalta tuhoisa lämpötila on usein noin 20 astetta kesän maksimilämpötilaa suurempi. Lajin sietokyky riippuu kuitenkin haihdunnasta, johon kasvin morfologia ja kasvupaikka vaikuttavat.

Kosteuden muutokset: Arktisilla ja alpiinisilla alueilla kosteuden ja ravinteiden merkitys on lämpötilaa suurempi (Le Roux ym. 2013). Talviaikaiset sateet lisääntyvät tuntureilla ja vuorilla yleensä lumena, mutta lumen sulaminen voi tapahtua nopeasti keväällä lämpötilan noustessa, etenkin jos routa sulaa ja maa läpäisee vettä. Lisäksi haihdunta kuivattaa maanpinnan nopeasti. Kalifornian vuoristoissa todettiin, että kasvupaikat ovat muuttuneet kosteasta niitystä kuivaan, pensaat ovat lisääntyneet ja niityt ovat kuivuneet loppukesällä, kun lumen sulamisvedet on käytetty ja sadetta on kesällä aiempaa vähemmän (Ababneh & Woolfenden 2010). Tällöin kosteissa lumenviipymissä tai lumen sulamisvesipurojen ympärillä viihtyvät kasvit kärsivät kuivuudesta. Arktisten alueiden talvien vesisateiden on kuitenkin ennustettu lisääntyvän (Bintanja & Andry 2017). Tällöin lumi sulaa nopeasti, ja se aiheuttaa merkittäviä muutoksia ekosysteemeissä.

Elinympäristövaatimukset ja leviämisen rajoitteet: Alpiiniset samoin kuin monet atlanttiset lajit pysyvät yleensä sitkeästi kasvupaikoillaan, sillä lajit ovat erikoistuneita korkeiden paikkojen kasvuolosuhteisiin (Thuiller ym. 2005). Ne voivat pyrkiä ylemmäs vuorten rinteitä, mutta eivät siirry toisiin ilmastovyöhykkeisiin. Monet tunturilajit ovat rajoittuneita vain tietynlaisiin elinympäristöihin, ja niillä on tiukat vaatimukset kasvupaikkansa suhteen. Tällöin niiden mahdollisuudet levitä uusille paikoille ovat hyvin rajalliset (mm. Berry ym. 2007).

Ilmastomuutoksen vaikutuksia ja lajien uusille paikoille siirtymisen mahdollisuuksia arvioitaessa on otettava huomioon lajeille soveltuvien habitaattien saatavuus tulevaisuudessa. Suomessa tunturilajien tilanne on hankalin, koska sopivia kasvupaikkoja kalkkipitoista alustaa vaativille lajeille ei ole saatavilla viileämmillä alueilla tai korkeammilla tuntureilla. Myös rannikon lajit tulevat kärsimään ilmastomuutoksen vaikutuksista, kuten sadannan ja meriveden pinnan muutoksista (Luku 3.3.1.).

Demografiset tekijät: Putkilokasvien kannalta oleellisia tekijöitä muuttuvassa ilmastossa ovat riittävän suuri ja monimuotoinen populaatio, siementen tai itiöiden tehokas leviämiskyky, mikä edistää uusien kasvupaikkojen valtaamista, sekä hyvä stressin ja äärevien sääolojen sietokyky. Populaatioiden säilymisen kannalta tärkeitä ovat kasvien pitkäikäisyys ja kasvullinen leviäminen (Bell & Bliss 1980). Lämpötilan nousun ja kosteuden lisääntymisen on todettu suosivan etenkin isokokoisia ja valoa suosivia kasveja, kuten pensaikkoa (Virtanen ym. 2010). Myös kloonikasvit, kuten heinät ja sarat, näyttävät pärjäävän muita lajeja paremmin (Sandvik ym. 2004).

Pohjoisten kasvien suvullinen lisääntyminen voi olla satunnaista, mutta silloin erityisen tehokasta. Jos laji ei pysty siemenelliseen uudistumiseen, populaatiolta puuttuu sopeutumiskyky vaihteleviin ääriolosuhteisiin. Pohjoisten kasvien siemenpankin laadusta on vain vähän tietoa, mutta useimmilla kasveilla lienee ainakin lyhytikäinen maaperän siemenpankki. Edellisen vuoden huonot olosuhteet voivat heikentää nuppujen muodostumisen mahdollisuuksia, ja taimien talvehtiminen voi olla heikkoa. Lämpeneminen helpottaa suvullista lisääntymistä ja siten kasvien geneettinen monimuotoisuus voi lisääntyä ilmastomuutoksen edetessä.

Pienisiemeniset ja lenninhaivenelliset lajit voivat levitä ilmavirtojen mukana pitkiäkin matkoja. Linnut, kuten esimerkiksi pulmuset, kuljettavat siemeniä kuvuissaan uusille paikoille. Myös jäälautat kuljettavat kasvinosia ja siemeniä.

1.4.

Epävarmuudet ilmastomuutoksen vaikutusten arvioinnissa

Tunturilajien kasvupaikoilla sääolot vaihtelevat suuresti vuosittain ja vuodenajoittain jo nykyisellään, ja lajit ovat sopeutuneet stressaaviin olosuhteisiin. Ilmastomuutoksen myötä tulevien muutosten merkitystä ja vaikutuksia lajeihin on siten hankala arvioida. Erilaiset lämpötilan ja maaperän kosteuden muutokset voivat joko vahvistaa tai eliminoida toistensa vaikutuksia. Ilmastomuutoksen aiheuttamia muutoksia lajistossa ei aina pystytä erottamaan maankäytön ja muiden lajien aiheuttamista muutoksista, joita elinympäristön pirstoutuminen korostaa (McCarty 2001; Root ym. 2003; Grime ym. 2008).

Lajien yhteydet toisiin lajeihin, kuten pölyttäjiin, herbivoreihin, vieraslajeihin, kilpaileviin lajeihin ja mykorrhizasieniin voivat muuttua ilmaston lämmetessä (mm. Bertness & Ewanchuk 2002; ks. myös luku 2.2.2.3.). Pölyttäjien esiintymisen ja kasvien kukinnan samanaikaisuus on tärkeää. Maaperässä lämpötilan ja kosteuden muutosten vuoksi tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa lajeille tärkeiden ravinteiden tai mykorrhizasientien saatavuuteen. Lämpeneminen tuo lisää eteläisiä vieraslajeja ja kasvinsyöjiä. Toisaalta herbivorit voivat estää tai hidastaa pensaikon leviämistä. Vaikka paikoin porojen ylilaidunnus aiheuttaa kasvilajien monimuotoisuuden vähenemistä, voi porolaidunnuksella olla myös suotuisia vaikutuksia kasvillisuuden säilymiseen matalana. Ilmaston lämmetessä tuntureille leviävät, paikallisten lajien kanssa kilpailevat lajit voivatkin osoittautua herkiksi tuulelle eivätkä siksi pystykään vakiintumaan avoimille tunturikankaille (Saetersdal ja Birks 1997).

Lumipeitteen merkityksestä kasveille suojana ja kosteuden antajana keväisin on liian vähän tietoa laaja-alaisten johtopäätösten vetämiseksi (Niittynen & Luoto 2017).

Alavan maan lajeille lumella ei aina ole suurta merkitystä, tärkeämpi suojaava tekijä se lienee korkealla, äärevissä olosuhteissa kasvaville kasveille. Lumenviipymien kasveille lumipeite on tärkeä. Lisäksi lumi antaa suojaa kevätukukijoiden aralle nuppuvaiheelle. Tässä tarkastelussa lumen merkitystä ei arvioitu erikseen lajeihin vaikuttavana tekijänä, mikä on selkeä puute. Tosin lumen merkityksestä lajeille oli aika vähän tietoa saatavilla.

1.5.

Suositukset putkilokasvien turvaamiseksi ilmastomuutoksen vaikutuksilta

Niskasen ym. mukaan (2017b; Niskanen 2018) suojelualueet turvaavat vain rajoitetusti putkilokasvien lajistokeskittymiä (*hot spots*) ja kasvidiversiteettiä, sillä vain noin viidennes putkilokasvien monimuotoisuuden kannalta tärkeitä refugioista on suojeltu. Toisaalta Suomen harvinaisimmat ja ilmastomuutoksen eniten uhkaamat kasvit kasvavat suurimmaksi osaksi suojelualueilla Enontekiön Kilpisjärven suurtuntureilla ja Utsjoen Kevolla. Suojelualueilla tulee huolehtia elinympäristön pienipiirteisyyden säilymisestä. Uusia suojelualueita perustettaessa tulee kiinnittää huomiota pohjoisille lajeille soveltuvien refugioiden suojeluun sekä kasvillisuuden ja kasvupaikkojen monimuotoisuuteen. Potentiaalisia tulevaisuuden refugioita löytyy etenkin ilmastoltaan viileiltä tunturialueilta, joilla maaperä on kalkkipitoista, mutta lajirikkautta ylläpitäviä kohteita on myös pitkän kasvukauden alueilla (Niskanen 2018).

Harvinaisten lajien niukkojen populaatioiden vahvistaminen populaatiokokoa kasvattamalla olisi tärkeää. Kasvupaikkojen olosuhteita parantamalla, muun muassa sopivaa häiriötä luomalla, voidaan helpottaa lajien siemenellistä uudistumista ja siten säilymistä kasvupaikoillaan. Porolaidunnus aiheuttaa positiivisia vaikutuksia kasvillisuuteen runsasravinteisilla paikoilla, mutta niukkaravinteisilla paikoilla tallaus ja kulutus voivat olla kasveille haitallista ja aiheuttaa lajiston köyhtymistä (Moen & Lagerström 2008).

Lajeille tärkeiden alueiden kytkeytyneisyyteen tulee kiinnittää huomiota. Harvinaisimpia, tiukasti kasvupaikkoihinsa rajoittuneita lajeja ei kuitenkaan pystytä kovin hyvin auttamaan muuttuvassa ilmastossa ekologisten käytävien avulla. Suomessa lisäksi monet harvinaiset tunturilajit kasvavat jo nyt kaikkein korkeimmilla alueilla Käsivarren suurtuntureilla eivätkä ne voi siirtyä kasvamaan pohjoisemmaksi tai korkeammalle.

2 Ilmastonmuutos ja luontodirektiivin liitteiden II ja IV putkilokasvit

2.1.

Luontodirektiivin putkilokasvien lajiominaisuudet

EU:n luontodirektiivin liitteissä II ja IV on 32 Suomessa esiintyvää lajia tai alemmaa taksonia, joita kaikkia kutsutaan tässä lajeiksi (Taulukko 1). Kaikki lajit ovat direktiivin molemmissa liitteissä. Tärkeimpiä lajien tulevaisuuden ennusteeseen vaikuttavia lajiominaisuuksia on koottu taulukkoon 2. Taulukossa 3 esitellään lajien levinneisyyttä, ja arvioidaan lajien herkkyyttä kärsiä ilmastonmuutoksesta ja muutosten vaikutuksia lajien esiintymiseen Suomessa. Taulukkoon 4 on koottu suosituksia lajien suojele- ja hoitotoimiksi.

Taulukko 1. Luontodirektiivin liitteiden II ja IV putkilokasvit, lajien uhanalaisuus vuosina 2000 (Rassi ym. 2001), 2010 (Rassi ym.) ja 2019 (Hyvärinen ym.) sekä suojelutason kausien 2007–2012 ja 2013–2018 raportoinneissa. Uhanalaisuusluokat: CR = äärimmäisen uhanalainen, EN = erittäin uhanalainen, VU = vaarantunut, NT = silmälläpidettävä, LC = elinvoimainen, NA = arviointiin soveltumaton. Suojelutason arviointi: BOR = boreaalinen alue, ALP = alpiininen alue. Suojelutason koodit: FV = suotuisa, UI = epäsuotuisa riittämätön, U2 = epäsuotuisa huono, OCC = laji on tilapäinen tai satunnainen. Suojelutason lisämääreet (kehityssuunta): – heikkenevä, + paraneva, = vakaa, x tuntematon.

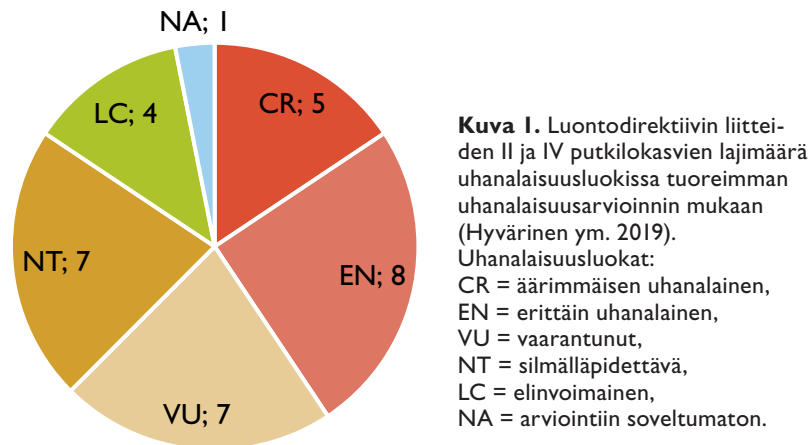
Lajin suomenkielinen ja tieteellinen nimi	Heimo	Lajien uhanalaisuus: IUCN-luokka			Lajien suojelutason raportoinnissa EU:lle: kausi 2007–2012		Lajien suojelutason raportoinnissa EU:lle: kausi 2013–2018	
		2019	2010	2000	BOR	ALP	BOR	ALP
Idänverijuuri, <i>Agrimonia pilosa</i>	Rosaceae	EN	EN	EN	UI-		UI-	
Upossarpio, <i>Alisma wahlenbergii</i>	Alismataceae	VU	EN	VU	UI+		UI=	
Lapinhilpi, <i>Arctagrostis latifolia</i>	Poaceae	NT	NT	VU	FV		FV=	
Pikkupohjansorsimo, <i>Arctophila fulva</i> var. <i>pendulina</i>	Poaceae	EN	EN	CR	U2-		UI+	
Tunturiarho, <i>Arenaria pseudofrigida</i>	Caryophyllaceae	LC	LC	NT	FV		FV=	
Perämerenketomaruna, <i>Artemisia campestris</i> subsp. <i>bottnica</i>	Asteraceae	CR	CR	CR	U2+		U2-	
Serpentiiniraunioinen, <i>Asplenium adulterinum</i>	Aspleniaceae	VU	VU	EN	FV		FV=	
Pikkunoidanlukko, <i>Botrychium simplex</i>	Ophioglossaceae	EN	CR	EN	U2x		UIx	
Neidonkenkä, <i>Calypso bulbosa</i>	Orchidaceae	VU	VU	VU	UI-		UIx	

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

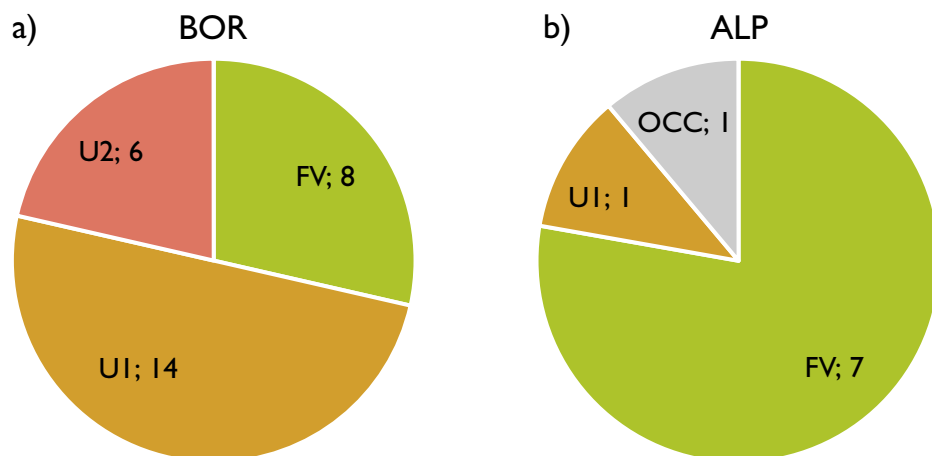
Taulukko jatkuu edelliseltä sivulta

Lajin suomenkielinen ja tieteellinen nimi	Heimo	Lajien uhanalaisuus: IUCN-luokka			Lajien suojelutaso raportoinnissa EU:lle: kausi 2007–2012		Lajien suojelutaso raportoinnissa EU:lle: kausi 2013–2018	
		2019	2010	2000	BOR	ALP	BOR	ALP
Tundrasara, <i>Carex holostoma</i>	Cyperaceae	LC	LC	NT	FV	FV	FV=	FV=
Hajuheinä, <i>Cinna latifolia</i>	Poaceae	NT	NT	NT	UI=		UI=	
Lapinleinikki, <i>Coptidium lapponicum</i> , ennen <i>Ranunculus lapponicus</i>	Ranunculaceae	LC	LC	LC	FV	FV	FV=	FV=
Pahtaketokeltto, <i>Crepis tectorum</i> subsp. <i>nigritula</i> , ennen <i>C. tectorum</i> subsp. <i>nigrescens</i>	Asteraceae	EN	EN	CR	UI=	UI+	UI=	UI=
Lehtotikankontti, <i>Cypripedium calceolus</i>	Orchidaceae	NT	NT	VU	UIx		UI=	
Taigamyyränporras, <i>Diplazium sibiricum</i>	Athyriaceae	LC	LC	LC	FV	FV	FV=	FV=
Idänkynsimö, <i>Draba cinerea</i>	Brassicaceae	VU	VU	NT	FV		FV=	
Tuoksualvejuuri, <i>Dryopteris fragrans</i>	Dryopteridaceae	NT	NT	NT		FV		FV=
Teodoriinpihlaja, <i>Hedlundia teodori</i> , ennen <i>Sorbus teodori</i>	Rosaceae	NA	CR	CR	FV		FV=	
Nelilehtivesikuusi, <i>Hippuris tetraphylla</i>	Plantaginaceae	VU	EN	EN	UI-		UI-	
Kiiltovalkku, <i>Liparis loeselii</i>	Orchidaceae	CR	CR	EN	U2-		U2-	
Laaksoarho, <i>Moehringia lateriflora</i>	Caryophyllaceae	NT	NT	VU	UIx		UI=	
Notkeanäkinruoho, <i>Najas flexilis</i>	Hydrocharitaceae	EN	EN	EN	UI-		UI-	
Hentonäkinruoho, <i>Najas tenuissima</i>	Hydrocharitaceae	EN	EN	EN	UI-		UI-	
Lietetatar, <i>Persicaria foliosa</i>	Polygonaceae	EN	EN	NT	UI-		U2-	
Pikkulehdokki, <i>Platanthera oligantha</i>	Orchidaceae	CR	CR	CR		OCC		OCC
Ruijannuokkuesikko, <i>Primula nutans</i> subsp. <i>finmarchica</i> (var. <i>jokelae</i>)	Primulaceae	NT	VU	EN	UI=		UI=	
Rönsysorsimo, <i>Puccinellia phryganodes</i>	Poaceae	CR	CR	EN	U2x		U2=	
Hämeenkölmänkukka, <i>Pulsatilla patens</i>	Ranunculaceae	EN	EN	EN	U2-		U2-	
Lettorikko, <i>Saxifraga hirculus</i>	Saxifragaceae	VU	VU	VU	UIx	FV	UI-	FV
Pohjankehtoailakki, <i>Silene involucrata</i> subsp. <i>tenella</i>	Caryophyllaceae	CR	CR	CR	U2-		U2-	
Lapinkaurake, <i>Trisetum subalpestre</i>	Poaceae	NT	NT	NT		FV		FV=
Pahtahiettaorvokki, <i>Viola rupestris</i> subsp. <i>relicta</i>	Violaceae	VU	EN	VU		FV		FV=

Tuoreimman uhanalaisuusarvioinnin mukaan luontodirektiivin putkilokasvilajeista 20 on uhanalaisia (luokat CR–VU) (Hyvärinen ym. 2019) (Kuva 1). Tiedon lisääntymisen vuoksi viiden lajin uhanalaisuusluokkaa pystyttiin laskemaan vuoden 2010 arvioinnista (Rassi ym. 2010). Teodorinpihlajaa (*Hedlundia teodori*, ennen *Sorbus teodori*) ei nykykäsityksen mukaan esiinny Suomessa. Lajin uhanalaisuutta ei arvioitu vuonna 2019, ja laji on poistettu taulukoista 2–4. Teodorinpihlajana meillä pidetyt puut kuulunevat lajiin kaunopihlaja (*Sorbus meinichii* s.l.) tai ne ovat muita risteymiä, joiden asema on epäselvä (Sennikov & Kurtto 2017). Teodorinpihlajan uhanalaisuus arvioitiin vuosina 2000 ja 2010 ja suojelutaso kausilta 2007–2012 ja 2013–2018. Tämän vuoksi laji on mukana taulukossa 1.



Luontodirektiivin raportoinnissa kaudelta 2007–2012 arvioitiin boreaalisella alueella suojelutasoltaan suotuisiksi (FV) kahdeksan lajia ja epäsuotuisiksi (luokat U1 ja U2) 20 lajia. Alpiinisella alueella suotuisia on seitsemän lajia ja epäsuotuisia 1 laji. Kauden 2013–2018 raportoinnissa tilanne oli samankaltainen (Kuva 2). Pikkunoidanlukon (*Botrychium simplex*) suojelutason arviointiin nyt hiukan parantuneen tiedon lisääntymisen ansiosta. Pikkulehdokin (*Platanthera oligantha*) esiintymä alpiinisella alueella arvioitiin molemmissa arvioinneissa tilapäiseksi (OCC).



Kuva 2. Luontodirektiivin putkilokasvien lajimäärä suojelutason luokissa luontodirektiivin artiklan 17 mukaisessa lajien suojelutason arvioinnissa EU:lle kaudelta 2013–2018 boreaalisella (BOR, kuva a) ja alpiinisella (ALP, kuva b) alueella. Suojelutason arviointi: FV = suotuisa, U1 = epäsuotuisa riittämätön, U2 = epäsuotuisa huono, OCC = tilapäinen.

Luontodirektiivin putkilokasvit ovat hyvin heterogeeninen joukko biologialtaan ja ekologialtaan erilaisia lajeja (Taulukko 2). Suurin osa lajeista on lyhytikäisiä (10–20 vuotta) monivuotisia, viisi on yksivuotisia tai hyvin lyhytikäisiä, ja 11 lajia hyvin pitkäikäisiä (vähintään 25 vuotta). Kolmasosa pystyy leviämään kasvullisesti ja muodostamaan paikallisesti laajahkoja kasvustolaikkuja. Pitkäikäisten ja kasvullisesti paikallisesti leviävien lajien säilyminen nykyisillä kasvupaikoillaan on todennäköisintä. Valtaosalla kasveista siementuotto on joko hyvä tai kohtalainen, mutta leviämiskyky on useimmilla vain paikallinen. Vain kuuden lajin leviämiskyky on hyvä jopa pitkiä matkoja, näihin lukeutuvat esimerkiksi kämmekät. Suurimmalla osalla on kuitenkin erityisiä mikrohabitaattivaatimuksia, kuten kalkinvaatimus, jotka rajoittavat uusien kasvupaikkojen saavuttamista, vaikka leviäimet pystyisivätkin leviämään ajoittain pitkälle. Pikkunoidanlукon, kiiltovalkun (*Liparis loeselii*), pikkulehdokin ja pohjankehtoailakin (*Silene involucrata* subsp. *tenella*) populaatiokoko on hyvin pieni (1–100 yksilöä), näistä kolmen viimeksi mainitun säilyminen nykyisillä kasvupaikoillaan on kaikkein epävarmintä. Viisi lajia risteytyy lähilajien kanssa, ja risteytyminen on uhka ainakin osalla kasvupaikoista (Taulukko 2).

Taulukko 2. Luontodirektiivin liitteiden II ja IV putkilokasvien biologisia ominaisuuksia.

Siementuotto: 1 = hyvä, 2 = kohtalainen, 3 = huono.

Leviämiskyky: 1 = hyvä, 2 = kohtalainen, 3 = huono.

Siemenpankki: 1 = pitkäikäinen, 2 = lyhytikäinen, 3 = ei ole.

Kasvullinen leviäminen: 1 = hyvä, 2 = paikallinen, 3 = ei ole.

Lajin suomenkielinen nimi	Ikä v.	Kukinta-aika kk	Siementuotto	Leviämiskyky	Mikrohab. vaatimuksia	Siemenpankki	Elomuoto	Kasvullinen leviäminen	Populaatiokoko Suomessa (kaikki yksilöt/versot)	Populaatiokoko (kukkivat yks./versot)	Pop. koon yksikö	Kukki-vien osuus %
Idänverijuuri	25	VII–VIII	1	1		2	hemikrypto-fyytti	1	5 000	3 000	verso	60
Upos-sarpio	<10	VII–VIII	1	1	x	1	uposkasvi	3	600 000 – 1 000 000	600 000	yksilö	90
Lapinhilpi	25	VII	3	3	x	2	hemikrypto-fyytti	1	47 800	47 800	kukkiva verso	?
Pikkupohjansorsimo	>10	VII–III	3	3	x	3	hemikrypto-fyytti	1	1 600 – 10 000	0	verso	0
Tunturi-arho	>10	VII–VIII	1	3	x	2	pääjuurellinen kamefyytti	3	5 000	4 000	yksilö/tupas	85
Perämerenketomaru ¹⁾	25	VIII–IX	1	2	x	2	pääjuurellinen hemikrypto-fyytti	3	2 300	600	yksilö/tupas	24
Serpentiiniraunioinen ²⁾	>25	VII–IX	1	2	x	2	talvihreä hemikryptofyytti	2	1 400	1 100	yksilö/tupas	90
Pikkunoidanlукko	10	VI–VII	1	2	x	1	kryptofyytti	3	100	100	yksilö	100
Neidon-kenkä	20	V–VI	1	2	x	?	hemikrypto-fyytti	3	>100 000	40 000	yksilö	24
Tundrasara	25	VII–VIII	2	2	x	?	hemikrypto-fyytti	1	40 000	20 000	kukkiva verso	50
Hajuheinä	10	VII–VIII	2	3	x	?	hemikrypto-fyytti	1	170 000	100 000	verso	?
Lapinleinikki	10	VI–VII	2	3	x	?	maavarrellinen kryptofyytti	1	>1 000 000	?	ilma-verso	?
Pahtaketokeltto ³⁾	1–2	VII–VIII	2	2	x	2	pääjuurellinen, kerran kukkiva hemikrypto-fyytti	3	2 000	100 – 1 000	yksilö/ruusu-ke	?

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko jatkuu edelliseltä sivulta

Lajin suomenkielinen nimi	Ikä v.	Kukinta-aika kk	Siemennuotto	Leviämis-kyky	Mikrohab. vaatimukset	Siemennäpki	Elomuoto	Kasvulin leviäminen	Populaatiokoko Suomessa (kaikki yksilöt/versot)	Populaatiokoko (kukkivat yks./versot)	Pop. koon yksikkö	Kukki-vien osuus %
Lehtotikankontti	25	VI–VII	I	I	x	?	juurakollinen kryptofyytti	I	400 000	150 0000	verso	?
Taigamyränporras	25	VII–VIII	I	I	x	?	hemikrypto-fyytti	I	7 000 000	7 000 000	verso	90
Idänkynsimö	>10	VI–VII	I	3	x	2	pääjuurellinen kamehemikryptofyytti	3	1 800	670	yksilö / kukkiva yksilö	38
Tuoksu-alvejuuri	25	VII–VIII	I	I	x	I	pitkäikäinen hemikryptokamefyytti	2	2 800	2 800	yksilö/tupas	100
Nelilehtivesikuusi ⁴⁾	10	VI–VIII	2	2	x	2	juurakollinen helofyytti	I	7 000 000	7 000 000	verso	90
Kiiltovalkku	20	VI–VII	I	3	x	?	varsimukulallinen hemikryptofyytti	2	5	3	yksilö/verso	60
Laakso-arho	10	VII–VIII	3	3		I	hemikrypto-fyytti	I	1 000 000	>100 000	kohe-neva verso, kukkiva verso	?
Notkeanäkinruoho	I	VII–IX	2	3	x	I	yksivuotinen uposkasvi	3	noin 100	noin 100	yksilö	100
Hentonäkinruoho	I	VII–IX	2	3	x	I	yksivuotinen uposkasvi	3	> 3 000	> 3 000	yksilö	100
Lietetatar	I	VII–IX	2	3	x	I	lyhytikäinen uposkasvi	3	500 000	> 100 000	yksilö	?
Pikku-lehdokki	20	VII	I	I	x	?	kryptofyytti	3	0–I	0	yksilö	0
Ruijannuokkuesikko	10	VI–VII	2	2		2	ruusukkeellinen hemikryptofyytti	2	> 10 000 000	> 1 000 000	ruusu-ke	7–24
Rönsysorsimo	25	VII–VIII	3	3	x	3	kasvullisesti uudistuva hemikryptofyytti	I	3	0	m ²	0
Hämeen kylmänkukka ⁵⁾	25	IV–V	2	2		2	pääjuurellinen hemikryptofyytti	2	1 200	680	yksilö	50
Lettorikko	10	VII–IX	2	2	x	2	hemikryptofyytti	I	10 000 000	> 500 000	ruusu-ke	?
Pohjankeh-toailakki	>10	VII–VIII	2	2	x	2	pääjuurellinen hemikryptofyytti	2	78	24	yksilö	15
Lapinkaurake	>10	VII	2	2	x	2	hemikryptofyytti	2	1 000	600	mätäs	50?
Pahtahieta-orvokki	10	VII–VIII	2	2	x	2	juurakollinen hemikryptofyytti	2	3 000	600	yksilö	20

Taksonomiset ongelmat:

¹⁾ Perämerenketomaruuna risteyytää kiiltoketomaruunan (*Artemisia campestris* subsp. *campestris*) kanssa.

²⁾ Serpentiiniraunioinen on syntynyt tummaraunioisen (*Asplenium trichomanes*) ja viherraunioisen (*A. viride*) risteymänä, kromosomiluku on kahdentunut, risteyytää tummaraunioisen kanssa.

³⁾ Kelton toinen alalaji kallioketokeltto (*Crepis tectorum* subsp. *tectorum*) on yleinen, ei tiedossa voivatko risteytyä.

⁴⁾ Nelilehtivesikuusi risteyytää lamparevesikuusen (*Hippuris vulgaris*) ja risteymäsyntyisen rannikkovesikuusen (*H. lanceolata*) kanssa; on epäselvää, onko kyseessä liukuva sarja.

⁵⁾ Hämeen kylmänkukka risteyytää kangasvuokon (*Pulsatilla vernalis*) kanssa.

Luontodirektiivin lajit myös esiintyvät hyvin erilaisissa elinympäristöissä (Taulukko 3). Lajeista 22:lla on laaja-alainen globaali levinneisyys, niistä viisi lajia (serpentiiniraunioinen *Asplenium adnigrum*, pikkunoidanlukko, lehtotikankontti *Cypripedium calceolus*, tuoksualvejuuri *Dryopteris fragrans* ja notkeanäkinruoho *Najas flexilis*) ovat kuitenkin kaikkialla harvinaisia. Pelkästään Fennoskandiaan rajoittuneita on yhdeksän taksonia (teodoriinipihlaja ei ole tässä mukana). Näitä voi todellisuudessa olla enemmänkin, sillä lajien geneettisen erilaistumisen astetta ei tunneta kovin hyvin. Suomen kansainvälisiä vastuulajeja on 15 lajia; niiden Euroopan kannasta suuri osa on Suomessa (Rassi ym. 2001). Levinneisyydeltään suppea-alaisimpia Suomessa (levinneisyysalue korkeintaan 100 km²) ovat kiiltovalkku, pikkulehdokki, rönsysorsimo (*Puccinellia phryganodes*), pohjankehtoailakki ja pahtahiettaorvokki (*Viola rupestris* subsp. *relicta*). Näistä pahtahiettaorvokkia lukuun ottamatta kaikilla on myös suppea esiintymisalue (alle 20 km²). Alle 20 km²:n esiintymisalue on edellisten lisäksi myös perämerenketomarunalla (*Artemisia campestris* subsp. *bottnica*) ja pahtaketokeltolla (*Crepis tectorum* subsp. *nigritula*). Maantieteellinen leviämisest on 14 lajilla. Näitä ovat Perämeren pohjukan lajit, useimmat arktiset lajit ja upoksissa kasvavat näkinruohot.

Taulukko 3. Luontodirektiivin liitteiden II ja IV putkilokasvien levinneisyys ja elinympäristöt sekä arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista lajeihin. Globaali levinneisyys: 1 = laaja-alainen, 2 = Eurooppa, 3 = vain Fennoskandia; h = kaikkialla harvinainen.

Lajin suomenkielinen nimi	Globaali levinneisyys	Suomen kansainväl. vastuulaji (Rassi ym. 2001)	Levinneisyysalueen koko Suomessa km ²	Esiintymisalueen koko Suomessa km ²	Elinympäristön pääluokka (Hyvärinten ym. 2019)	Uhkatekijät (Hyvärinten ym. 2019) ⁴⁾	Suoje-lutilan-ne Suomessa %	Maantieteellinen leviämisest Suomessa / laji meillä pohjoisrajal-laan	Ilmastonmuutoksen vaikutukset: 1=suora, 2=välillinen
Idänverijuuri	1		800	70	Perinneympäristöt	N, R	44		2
Upossarpio	3	x	8 000	500	Itämeri	N, Kh, Vr, I	51	x	2
Lapinhilpi	3		6 000	24	Suot	S	86		2
Pikkupohjan-sorsimo	3		500	20	Rannat	N, Kh, I	100	x	2
Tunturiarho	1		1 300	50	Kalliot	S, N, Ks	88		2
Perämerenketomaruna	3	x	3 600	8	Rannat	Ris, N	50	x	2
Serpentiiniraunioinen	1, h		3 000	20	Kalliot	Ks, Ris	96		1, 2
Pikkunoidanlukko	1, h	x	6 600	36	Rannat	N	73		1, 2
Neidonkenkä	1	x	116 000	1 700	Metsät	M, MI, R, Ks, I	43		1, 2
Tundrasara	1		33 100	130	Tunturit	S	79	x	2
Hajuheinä	1	x	140 000	500	Metsät	M, O, R	30		2
Lapinleikki	1	x	180 000	3 500	Suot	O, M	46		2
Pahtaketokeltto	1		3 800	12	Tunturit	S, N	100		1, 2
Lehtotikankontti	1, h		310 000	1 800	Metsät	M, O, N, Ke, Ku, Ks	49 ¹⁾		2
Taigamyrränporras	1	x	180 000	500	Metsät	M, O, Vr	72		2
Idänkynsimö	1		250	80	Kalliot	S	89		2
Tuoksualvejuuri	1, h	x	130	60	Tunturit	S, I	94	x	1, 2

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko jatkuu edelliseltä sivulta

Lajin suomen-kielinen nimi	Glo-baali levin-neisyys	Suomen kansain-väl. vas-tuulaji (Rassi ym. 2001)	Levinnei-syysalu-teen koko Suomes-sa km ²	Esiinty-misal-teen koko Suomes-sa km ²	Elinym-päristön pääluokka (Hyvärinen ym. 2019)	Uhka-tekijät (Hyvärinen ym. 2019) ⁴⁾	Suoje-lutilan-ne Suo-messa %	Maantieteel-linen leviämi-seste Suomes-sa / laji meillä pohjoisrajal-laan	Ilmaston-muutoksen vaikutuk-set: 1=suo-ra, 2=väliil-linen
Nelilehti-vesikuusi	I	x	60 000	150	Rannat	N, Kh, R, Ris, I	96	x	I, 2
Kiiltovalkku	I		62	4	Suot	O	100		I, 2
Laaksoarho	I		120 000	I 120	Rannat	Vr, N, R	27 ²⁾		2
Notkeanäkin-ruoho	I, h		17 000	40	Vedet	Kh, Vr, Kil	84	x	I, 2
Hentonäkin-ruoho	3	x	54 500	200	Vedet	Kh, Vr, Kil	28	x	I, 2
Lietetatar	I	x	170 000	400	Rannat	Vr, I, N, Kh	43	x	2
Pikkuleh-dokki	I		100	4	Tunturit	S	100	x	I, 2
Ruijannuok-kuesikko	3	x	8 200	570	Rannat	N, Kh, R, I	38	x	I, 2
Rönsysor-simo	3		100	12	Rannat	N, Kh, I, S	100	x	2
Hämeen- kylmänkukka	I		2 300	340	Metsät	M, Ks, Mk, Ke, R, N	33 ²⁾		I, 2
Lettorikko	I	x	180 000	2 100	Suot	O, N, Vr	64		I, 2
Pohjankehto-ailakki	3		100	4	Kalliot	N, S	100		I, 2
Lapinkaurake	I	x	2 000	90	Rannat	S	50 ³⁾	x	I, 2
Pahtahietta-orvokki	3	x	100	20	Tunturit	S, Ris	100	x	2

Yläindeksi:

¹⁾ Eteläisistä esiintymistä suojeltu 100 %.

²⁾ Elinvoimaisimmat esiintymät on suojeltu.

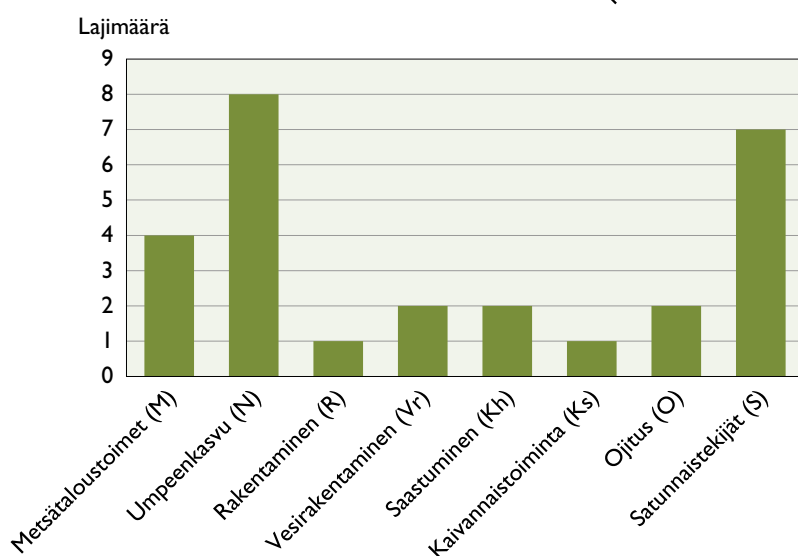
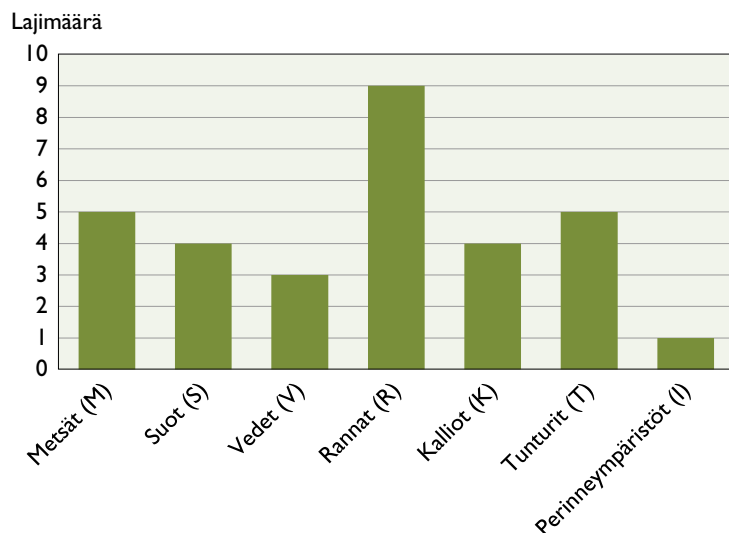
³⁾ Muut esiintymät on suojeltu vesirakentamiselta.

⁴⁾ Uhkatekijät (Hyvärinen ym. 2019): Uhkatekijät: I = ilmastonmuutos, Ke = keräily, Kh = kemialliset haittavaikutukset (saastuminen), Kil = kilpailu, Ks = kaivostoiminta ja soranotto, Ku = kuluminen, M = metsätalous, Mk = kuusettuminen, MI = lahoppuun väheneminen metsissä, N = umpeenkasvu, O = ojitus, R = rakentaminen, Ris = ristetytminen, S = satunnaistekijät, Vr = vesirakentaminen.

Suurin osa luontodirektiivin putkilokasveista on pääelinympäristönsä mukaan rantakasveja (Kuva 3). Rantalajeista seitsemän kasvaa ensisijaisesti Itämeren rannoilla, kaksi on ensisijaisesti sisävesien rantojen lajeja. Ensisijaisia metsä- ja tunturilajeja on kumpiakin viisi. Kalliolajeista useimmat ovat kalkkikallioiden lajeja.

Luontodirektiivin putkilokasvien tärkein ensisijainen uhkatekijä on umpeenkasvu (Kuva 4). Ilmastonmuutosta ei arvioitu yhdenkään luontodirektiivin kasvin ensisijaiseksi uhkatekijäksi. Vuoden 2010 arvioinnissa se merkittiin kuuden lajin yhdeksi uhkatekijäksi: upossarpio (*Alisma wahlenbergii*), pikkupohjansorsimo, nelilehtivesikuusi (*Hippuris tetraphylla*), ruijannuokkuesikko (*Primula nutans* subsp. *finmarchica*) ja rönsysorsimo (Rassi ym. 2010). Näiden lisäksi ilmastonmuutos merkittiin yhdeksi uhkatekijäksi vuoden 2019 arvioinnissa tuoksualvejuurelle ja lietetattarelle (*Persicaria foliosa*) (Hyvärinen ym. 2019) (Taulukko 3).

Useimmat lajit tulevat kärsimään ilmastonmuutoksesta epäsuorasti elinympäristöjen muutosten, kuten umpeenkasvun tai kuivumisen vuoksi. Esimerkiksi merenrantojen lajiyhteisöt voivat Itämeren alueella vähentyä meren pinnan nousun ja sitä seuraavan elintilan kaventumisen myötä. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja lajien uusille paikoille siirtymisen mahdollisuuksia arvioitaessa on tärkeää ottaa huomioon lajeille soveltuvien habitaattien saatavuus tulevaisuudessa. Alustavan arvion mu-



kaan puoleen lajeista voi kohdistua myös suoria vaikutuksia kasvupaikan liiallisen lämpenemisen vuoksi (Taulukko 4).

Erilaisten ilmastoskenaarioiden vaikutuksia lajien esiintymiseen Euroopan boreaalisella tai arktisella alueella on tarkasteltu vain muutamalla lajilla. Useista luontodirektiivin lajeista on kuitenkin saatavilla pitkäaikaista seurantatietoa eri puolilta niiden levinneisyysaluetta tai julkaisuja erilaisten lämpö- tai muiden ympäristöolojen käsittelykokeiden tuloksista. Niiden pohjalta on tämän liitteen luvussa 3 arvioitu lajien herkkyyttä ja sopeutumiskykyä ilmastomuutokseen sekä esitetty alustavia arvioita lajien suojelun, hoidon ja seurannan tarpeista.

2.2.

Luontodirektiivin kasvien elinympäristöjen muuttuminen ja hoitotarve ilmastonmuutoksen myötä

Ennusteen mukaan 52 prosenttia Euroopan kasveista tulee menettämään suotuisat elinympäristönsä vuoteen 2080 mennessä. Luontodirektiivin kasveilla häviävien osuus on vielä tätä suurempi. Vertailussa mukana olevista Euroopan maista Suomi näyttäisi olevan ainoa maa, jossa direktiivilajien voittajien ja häviäjien osuudet ovat samat (Council of Europe 2012).

Luontodirektiivin putkilokasvien kannalta tärkeimpiä luontotyyppejä, joita ilmastonmuutoksen vaikutukset uhkaavat, ovat etenkin seuraavat (mm. Raunio ym. 2008; Kontula & Raunio 2018):

- Itämeren rannikon luontotyytit: etenkin merenpinnan nousulle ja maankohoamisen vähenemiselle herkkä luontotyytit kuten hiekka- ja dyynirannat sekä merenrantaniityt. Lämpötilan nousu ja sateiden lisääntyminen lisäävät kilpailevaa kasvillisuutta ja muutoksille herkkien kasvien lisääntymismenestystä (Martini ym. 2009). Jään puuttuminen ja jääeroosion vaikutusten väheneminen heikentää sukkession alkuvaiheen kasvien menestymistä. Myös myrskyjen ja tulvien sekä aallokon kasvavan voiman lisääntyminen voi muuttaa kasvillisuutta (mm. Callaghan ym. 2004). Rehevöityminen lisää ruovikoitumista. Jään puuttuminen voi vaarantaa etenkin Pohjanlahden rantojen kasvillisuutta (mm. Johansson ym. 2004). Suomenlahdella meren pinnan nousu tulee olemaan voimakkaampaa kuin maankohoaminen, kun taas Pohjanlahdella maankohomainen tulee säilymään voimakkaampana kuin merenpinnan nousu (Johansson ym. 2004).
- Sisävedet: lämpeneminen aiheuttaa kilpailevan kasvillisuuden yleistymistä ja runsastumista. Valunnan ja virtaamien muutokset aiheuttavat vesien samentumista ja pohjan liettymistä etenkin tunturialueella ja Lounais-Suomessa. Jokien mukana lietettä kerääntyy yhä enemmän myös rannikolle.
- Tunturiluontotyytit: etenkin metsänrajan noususta ja pensoittumisesta kärsivät tunturikankaat, heinäkankaat ja tunturiniityt, routimisilmiöstä riippuvaiset kuviomaat ja routanummet sekä tähän mennessä jo selvimmin kärsineet lumenviipymät, lumenpysymät ja palsasuot.

Direktiivilajeista arktiset ja alpiiniset lajit ovat suurimmassa häviämisaarassa ilmastonmuutoksen aiheuttaman lumipeitteen vähenemisen, siitä seuraavan sulamisvesien niukentumisen ja lämpenemisestä johtuvan muun kilpailevan kasvillisuuden lisääntyessä. Tämänkaltaisia muutoksia on jo havaittu (mm. Virtanen ym. 2010).

Luontodirektiivin kasvien suojelu- ja hoitotarpeista pyrittiin sopimaan kiireellisesti suojeltavien lajien suojelun, hoidon ja seurannan priorisointineuvottelujen yhteydessä yhdessä Metsähallituksen Luontopalvelujen ja ELY-keskusten kanssa vuosina 2012–2017 (Kemppainen & Kaipiainen-Väre 2017). Taulukossa 4 tarkastellaan ilmastonmuutoksen aiheuttamia uhkia luontodirektiivin putkilokasvien elinympäristöihin sekä kasvupaikoilla tarvittavia toimia ja niiden kiireellisyyttä luontodirektiivin luontotyyppien pääelinympäristöittäin. Pikkupohjansorsimo, lietetatat ja lehtotikankontti on mainittu kahdessa eri elinympäristöryhmässä.

Suojelu- ja hoitotoimet ovat kiireellisiä (toimet tarpeen 1–5 vuoden kuluessa) 11 lajin kasvupaikoilla. Nämä ovat heikkoja kilpailijoita, joiden kasvupaikkoja uhkaa ilmaston lämpenemisen myötä lisääntyvä muiden kasvien aiheuttama umpeenkasvu tai kuivuminen. Hoitona on lähinnä muun kilpailevan kasvillisuuden poistaminen niittämällä tai laiduntamalla. Hoitotoimien vaikutuksia ja populaatioiden tilaa tulee seurata. Seitsemän lajin paikoilla tarvitaan toimia 5–10 vuoden kuluessa ja 15 lajin paikoilla tarvitaan toimia 10–20 vuoden kuluessa. Pikkupohjansorsimon Tornionjoen kasvustojen laidunnusta tulee jatkaa ja Temmesjoen suiston luontaisen jokisuistodynamiikan palautuksen vaikutuksia tulee seurata. Lietetattaren sisämaan kasvustot kaipaavat kiireellisiä toimia, sen sijaan merenrannan jokisuistoesiintymät ovat elinvoimaisia. Lehtotikankontin eteläisiä metsäesiintymiä tulee hoitaa tarvittaessa, pohjoiset metsä- ja suokasvupaikat säilynevät, jos vesitalous säilyy ennallaan.

Populaatioiden elvyttäminen on kiireellisintä niillä lajeilla, joiden populaatiokoko on hyvin pieni, esiintymisalue hyvin suppea tai joilla ei ole mahdollisuuksia levitä nykyisiä kasvupaikkojaan pohjoisemmaksi joko maantieteellisten leviämisehtien tai lajien huonon leviämiskyvyn vuoksi. Uusien suojelualueiden perustaminen ei ole

Taulukko 4. Luontodirektiivin liitteiden II ja IV putkilokasvien elinympäristöt, niiden uhat etenkin ilmastonmuutoksen edetessä ja kasvupaikoilla tarvittavat toimet.

Toimien kiireellisyys: 1 = hyvin kiireellinen (1–5 v kuluessa), 2= melko kiireellinen (5–10 v kuluessa), 3 = ei kovin kiireellinen (10–20 v kuluessa).

Elinympäristö	Lajin suomenkielinen ja tieteellinen nimi	Elinympäristöön kohdistuvat uhat	Hoito- ja ennallistamistarve	Seurantatarve	Toimien kiireellisyys (1–3)
Niityt, perinneympäristöt	Idänverijuuri, <i>Agrimonia pilosa</i>	Lämpenemisestä aiheutuvan umpeenkasvun lisääntyminen	Hoitotarve: niitto, pensaikon raivaus, laidunnus, maanpinnan paljastaminen tarvittaessa	Hoitotoimien vaikutusten seuranta	1
Rannikon vedet	Upossarpio, <i>Alisma wahlenbergii</i>	Rehevöityminen ja ruovikoituminen, jääeroosion puuttuminen, merenpinnan nousu, myrskyt ja aallokko	Mahdollinen hoitotarve	Elinympäristöjen seuranta, hoitotoimien vaikutusten seuranta	2
	Pikkupohjansorsimo, <i>Arctophila fulva</i> var. <i>pendulina</i>	Rehevöityminen ja ruovikoituminen, jääeroosion puuttuminen, merenpinnan nousu, myrskyt ja aallokko	Mahdollinen hoitotarve	Elinympäristöjen seuranta, hoitotoimien vaikutusten seuranta, siirtoistutettujen seuranta	2
	Lietetatar, <i>Persicaria foliosa</i>	Rehevöityminen ja ruovikoituminen, jääeroosion puuttuminen, merenpinnan nousu, myrskyt ja aallokko	Mahdollinen hoitotarve	Elinympäristöjen seuranta, hoitotoimien vaikutusten seuranta	3
	Nelilehtivesikuusi, <i>Hippuris tetraphylla</i>	Rehevöityminen ja ruovikoituminen, jääeroosion puuttuminen, merenpinnan nousu, myrskyt ja aallokko	Mahdollinen hoitotarve	Elinympäristöjen seuranta, hoitotoimien vaikutusten seuranta, risteytymisen seuranta	3
Merenranta-niityt ja hietikot	Perämerenketomaru, <i>Artemisia campestris</i> subsp. <i>bottnica</i>	Rehevöityminen, umpeenkasvu, kuivuminen, jääeroosion puuttuminen, merenpinnan nousu	Hoitotarve (pensaikon raivaus, rantahietikon umpeenkasvun estäminen, risteytymisen estäminen)	Hoitotoimien vaikutusten seuranta, risteytymien leviämisen seuranta, siirtoistutettujen seuranta	1
	Pikkunoidanlukko, <i>Botrychium simplex</i>	Rehevöityminen, umpeenkasvu, kuivuminen, jääeroosion puuttuminen, merenpinnan nousu	Laidunnuksen jatkaminen, mahdollisesti muu hoito	Elinympäristön ja hoitotoimien vaikutusten seuranta	1
	Ruijannuokkuesikko, <i>Primula nutans</i> subsp. <i>finmarchica</i>	Rehevöityminen, umpeenkasvu, rantojen liettyminen, kuivuminen, jääeroosion puuttuminen, merenpinnan nousu	Hoitotarve (laidunnus, niitto, raivaus, etenkin mantereeseen esiintymissä)	Hoitotoimien vaikutusten seuranta	2
	Rönsysorsimo, <i>Puccinellia phryganodes</i>	Rehevöityminen, umpeenkasvu, kuivuminen, jääeroosion puuttuminen, merenpinnan nousu	Hoitotarve (laidunnus)	Hoitotoimien: laidunnuksen ja hanhien vaikutusten seuranta	1
Sisävedet	Pikkupohjansorsimo, <i>Arctophila fulva</i> var. <i>pendulina</i>	Rehevöityminen ja ruovikoituminen, jääeroosion puuttuminen	Laidunnuksen jatkaminen	Elinympäristöjen seuranta, hoitotoimien vaikutusten seuranta	1
	Notkeänäkinruoho, <i>Najas flexilis</i>	Rehevöityminen, umpeenkasvu, muun kasvillisuuden kilpailu, vieraslajit (mm. kanadanvesirutto, <i>Elodea canadensis</i>)	Tarvittaessa hoitotoimet (ruovikoiden ja muun kasvillisuuden niitot), valuma-alueen vesiensuojelu	Hoitotoimien vaikutusten seuranta	1
	Hentonäkinruoho, <i>Najas tenuissima</i>	Rehevöityminen, umpeenkasvu, muun kasvillisuuden kilpailu, vieraslajit (mm. kanadanvesirutto, <i>Elodea canadensis</i>)	Tarvittaessa hoitotoimet (ruovikoiden ja muun kasvillisuuden niitot), valuma-alueen vesiensuojelu	Hoitotoimien vaikutusten seuranta	1
	Lietetatar, <i>Persicaria foliosa</i>	Rehevöityminen, umpeenkasvu, muun kasvillisuuden kilpailu, vieraslajit (mm. kanadanvesirutto, <i>Elodea canadensis</i>)	Tarvittaessa hoitotoimet sisämaan esiintymissä (laidunnus, ruovikoiden ja muun kasvillisuuden niitot)	Hoitotoimien vaikutusten seuranta	1
Suot	Lehtotikankontti, <i>Cypripedium calceolus</i>	Ilmaston lämpenemisestä ja ihmistoiminnasta johtuva kuivuminen (aiempien ojitusten kuivattava vaikutus)	Kosteusolojen turvaaminen (mm. ennallistaminen)	Hoitotoimien vaikutusten seuranta	3
	Kiiltovalkku, <i>Liparis loeselii</i>	Ilmaston lämpenemisestä ja ihmistoiminnasta johtuva kuivuminen, valokuvaus	Kosteusolojen turvaaminen (mm. ennallistaminen), paikalla liikkumisen kieltäminen	Hoitotoimien vaikutusten seuranta	1
	Lettorikko, <i>Saxifraga hirculus</i>	Ilmaston lämpenemisestä ja ihmistoiminnasta johtuva kuivuminen (aiempien ojitusten kuivattava vaikutus)	Kosteusolojen turvaaminen (mm. ennallistaminen)	Elinympäristön tilan ja hoitotoimien vaikutusten seuranta	2

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

Elinympäristö	Lajin suomenkielinen ja tieteellinen nimi	Elinympäristöön kohdistuvat uhat	Hoito- ja ennallistamistarve	Seurantatarve	Toimien kiireellisyys (1–3)
Metsät	Neidonkenkä, <i>Calypto bulbosa</i>	Voimakas metsätalous ja maanmuokaus, kasvupaikkojen kuivuminen	Otetaan huomioon metsätaloudessa (ei liian voimakasta metsänkäsittelyä, ei aurausta), kosteusolojen turvaaminen	Seurataan pirstoutumisen vaikutuksia ja metapopulaatiodynamiikkaa, etenkin Lapin Kolmiossa	2
	Hajuheinä, <i>Cinna latifolia</i>	Purojen kuivuminen	Otetaan huomioon metsätaloudessa, kosteusolojen turvaaminen	Seuranta	3
	Lehtotikankontti, <i>Cypripedium calceolus</i>	Metsätalous, lehtojen umpeenkasvu	Otetaan huomioon metsätaloudessa, lehtojen hoito Etelä-Suomessa	Seuranta	2
	Taigamyyränporras, <i>Diplazium sibiricum</i>	Metsätalous, pienvesien ja kosteikkojen kuivuminen	Otetaan huomioon metsätaloudessa, purojen, kosteikkojen, lähteiden ja korpjen vesitalouden turvaaminen	Seuranta	3
	Laaksoarho, <i>Moehringia lateriflora</i>	Jokien säännöstely, rantametsien voimakkaat hakkuut, tulvien voimistuminen	Otetaan huomioon rantametsien käsittelyssä, voimailojen ja säännöstelylaitteiden rakentamisessa	Seuranta	3
	Hämeen-kylmänkukka, <i>Pulsatilla patens</i>	Metsien uudistaminen: tiheä taimikkovaihe ja sammaloituminen	Harjumetsien aukkoisuuden ja paahteisuuden turvaaminen, polttokokeet, kulutus	Hoitotoimien vaikutusten seuranta, populaatioiden vahvistaminen	1
	Lapinleinikki, <i>Coptidium lapponicum</i>	Voimakas metsätalous, vesitalouden muutokset, kuivuminen	Otetaan huomioon metsätaloudessa: purojen, kosteikkojen, lähteiden ja korpjen vesitalouden turvaaminen	Seuranta	3
Kalliot	Tunturiarho, <i>Arenaria pseudofrigida</i>	Lämpöolojen äärevöityminen, rehevöitymisestä aiheutuva umpeenkasvu	Niukkakasvisuuden turvaaminen tarvittaessa hoitotoimin	Habitaattien saatavuuden ja populaatiodynamiikan toimivuuden seuranta	3
	Serpentiini-raunioinen, <i>Asplenium adulterinum</i>	Lämpöolojen äärevöityminen, rehevöitymisestä aiheutuva umpeenkasvu	Tarvittaessa hoito	Habitaattien saatavuuden ja populaatiodynamiikan toimivuuden seuranta	2
	Pahtaketokeltto, <i>Crepis tectorum</i> subsp. <i>nigritula</i>	Lämpeneminen ja siitä seurannut muun kasvillisuuden leviäminen	Tarvittaessa hoito	Habitaattien saatavuuden ja populaatiodynamiikan toimivuuden seuranta	2
	Idänkynsimö, <i>Draba cinerea</i>	Lämpöolojen äärevöityminen, rehevöitymisestä aiheutuva umpeenkasvu	Tarvittaessa hoito	Habitaattien saatavuuden ja populaatiodynamiikan toimivuuden seuranta	3
	Tuoksualvejuuri, <i>Dryopteris fragrans</i>	Lämpenemisestä ja lumettomuudesta aiheutuva kuivuminen, umpeenkasvu		Seuranta	3
	Pohjankehtoailakki, <i>Silene involucreta</i> subsp. <i>tenella</i>	Umpeenkasvu: sammaloituminen	Kallion rapautumisen palauttaminen, tarvittaessa sammalen ja kallion edustan puuston poisto	Habitaattien saatavuuden ja populaatiodynamiikan toimivuuden seuranta	1
Tunturikankaat, -kosteikot ja -louhikot	Lapinhilpi, <i>Arctagrostis latifolia</i>	Lämpenemisestä aiheutuva kuivuminen, umpeenkasvu	Tarvittaessa hoito	Seuranta	3
	Tundrasara, <i>Carex holostoma</i>	Lämpenemisestä aiheutuva kausikosteikkojen ja valuvesiuomien kuivuminen, umpeenkasvu		Seuranta	3
	Pikkulehdokki, <i>Platanthera oligantha</i>	Mahdollisesti umpeenkasvu		Seurataan kasvuympäristöä laajemmin ja selvitetään onko laji vakiintumassa meillä vai oliko havaittu yksilö tilapäinen	3
	Lapinkaurake, <i>Trisetum subalpestre</i>	Lämpenemisestä aiheutuva kuivuminen, umpeenkasvu		Seuranta	3
	Pahtahiettaorvokki, <i>Viola rupestris</i> subsp. <i>relicta</i>	Umpeenkasvu		Seuranta	3

ensisijainen tavoite. Tärkeintä on luoda mahdollisimman monimuotoiset olosuhteet nykyisillä suojelualueilla populaatioiden paikallisen säilymisen, populaatiodynamiikan ja elinvoimaisuuden turvaamiseksi sekä ilmastonmuutokseen sopeutumisen helpottamiseksi. Lisäksi tulee nykyistä tehokkaammin estää lajien populaatioihin ja niiden elinympäristöihin kohdistuvia ihmisen aiheuttamia uhkia (mm. rakentaminen, vesivoiman lisääminen, metsätalouden tehostaminen, kasvupaikkoja kuivattavat ojitukset ja rehevöittävät päästöt vesiin), jotka aiheuttavat jo nykyisellään usein liian pieniin ja pirstoutuneisiin populaatioihin stressiä (Ignatavicius & Toleikiene 2017).

3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset luontodirektiivin liitteiden II ja IV putkilokasveihin – lajikohtainen tarkastelu

3.1.

Idänverijuuri (*Agrimonia pilosa*)

Levinneisyys: Idänverijuuri on itäinen laji, jonka levinneisyyden keskus on Länsi-Siperiassa, ja levinneisyysalue ulottuu Suomen Hämeestä ja Keski-Suomesta aina Kiinaan asti. Meillä ja Baltian maissa laji on läntisellä reuna-alueellaan.

Kasvupaikat: Idänverijuuri kasvaa vaihtelevissa valaistusolosuhteissa niittyjen ja metsien reunamilla, sekä avoimilla paikoilla että osittain puuston suojassa. Kukinta ja siementuotto ovat runsainta avoimilla paikoilla. Idänverijuuret ovat pitkäikäisiä ja ne pystyvät leviämään myös kasvullisesti. Valoa etsiessään idänverijuuri lisää kasvullista leviämistä ja pystyy siten säilymään jonkin aikaa myös epäedullisilla paikoilla, kuten varjossa, missä kasvit kuitenkin jäävät pieniksi ja heiveröisiksi. Valon ja taimien edellyttämän paljaan maan lisäksi sillä ei ole muita erityisiä habitaattivaatimuksia.

Lisääntyminen: Kasvi on hyönteispölytteinen, mutta itsepölytys on mahdollinen. Siemenet leviävät helposti, koska hedelmyksissä olevat väkäset tarttuvat helposti esimerkiksi eläinten karvoihin. Siemenet säilyvät maassa kuitenkin huonosti, joten laji on riippuvainen ajoittain uusiutuvasta hyvästä siementuotosta. Japanissa tehdyissä tutkimuksissa havaittiin, että idänverijuuren siemenet itävät jokseenkin hyvin (noin 20 %) lämpimässä, mutta kostea viileäkäsittely lisäsi siementen itävyyden 50–60 prosenttiin (Washitani & Masuda 1990). Siemenellinen uudistuminen ja siementaimien vakiintuminen edellyttävät laikuittain avointa maanpintaa.

Sopeutumiskyky: Mägin ym. (2011) tutkimusten mukaan idänverijuuri sopeutuu huonosti heikkoihin valaistusoloihin esimerkiksi kasvaessaan puuston alla verrattuna lähilajiin maarianverijuureen (*A. eupatoria*). He arvelivat idänverijuuren huonon sopeutumiskyvyn johtuvan kasvin esiintymisestä Itä-Virossa levinneisyytensä reuna-alueella toisin kuin maarianverijuuri, joka on Virossa yleinen ja jonka levinneisyyden painopiste on Euroopassa. Pitkäikäisyytensä ja vankan juuristonsa vuoksi laji kestää hyvin kuivuutta, jota voi olla odotettavissa ilmaston lämmitessä. Koillis-Kiinassa idänverijuuren on arveltu valtaavan aiemmin saravaltaiset kasvustot (Ju ym. 2010). Optimaalisissa oloissa kasvit tuottavat paljon siemeniä ja ne kulkeutuvat helposti uusille paikoille.

Suojelu ja hoito: Suomessa idänverijuuren kasvustoja on hoidettu menestyksellisesti 1990-luvulta lähtien poistamalla varjostavaa kasvillisuutta niittämällä, pensaikkoa raivaamalla ja käsin repimällä. Hoidon ansiosta kasvustot on saatu pysymään vakaina. Lajin siirtäminen uusille paikoille onnistuu hyvin. Todisteena tästä on Isojärven kansallispuistoon 1990-luvun alussa siirretyt taimet, joista on perinnemaiseman

hoidon ansiosta kehittynyt elinvoimainen kasvusto. Jos idänverijuuren kasvupaikkojen hoitoa pystytään jatkamaan nykyisessä laajuudessa, ei lajilla ole välitöntä uhkaa ilmaston lämmetessä. Hoidon intensiteettiä joudutaan todennäköisesti kuitenkin lisäämään elinympäristöjen rehevöityessä. Noin puolet kasvustoista on Natura-alueilla, jotka ovat kuitenkin hyvin pienialaisia. Hoitoa on jatkettava ja tehostettava myös suojelualueiden ulkopuolella.

3.2.

Upossarpio (*Alisma wahlenbergii*)

Levinneisyys: Upossarpio kasvaa Perämeren rannoilla Suomessa ja Ruotsissa. Lisäksi lajia on tavattu Virosta, Latviasta ja Venäjältä muun muassa Viipurinlahdelta. Suomessa laji on hävinnyt Suomenlahdelta kasvupaikkojen rehevöitymisen ja umpeenkasvun vuoksi. Meillä laji ei pysty leviämään pohjoisemmaksi, säilyminen riippuu sen sopeutumiskyvystä ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin elinympäristössä.

Kasvupaikat: Upossarpio kasvaa matalassa vedessä paljailla tai niukkakasvuisilla silttipohjilla. Kasvustojen sijainti ja runsaus vaihtelevat suuresti vuosittain lajin lyhytikäisyyden vuoksi. Elinympäristöt ovat alttiita jään ja veden eroosiovoimille.

Lisääntyminen: Upossarpio on yksivuotinen tai lyhytikäinen uposkasvi. Sitä on aiemmin pidetty *A. gramineum* alalajina (subsp. *wahlenbergii*), mutta nykyisin sitä pidetään kuitenkin omana lajina (Lansdown 2011). Upossarpio kukkii säännöllisesti, siementuotto lieenee suuri ja siemenpankki saman heimon muiden yksivuotisten lajien tapaan pitkäikäinen ja hyvin säilyvä. Siemenet leviävät todennäköisesti helposti kellumalla veden virtailujen mukana uusille paikoille, jos sopivaa paljasta kasvualustaa syntyy maankohoamisen seurauksena. Myös lintujen mukana leviäminen voi olla mahdollista.

Sopeutumiskyky: Lajilla ei ole Suomessa akuuttia häviämisuuhkaa, levinneisyysalue on laajahko ja yksilömäärä suuri. Ilmaston lämpeneminen tuskin uhkaa upossarpiota suoraan. Lähilajin (*A. gramineum*) siementen on todettu itävän parhaiten matalissa ja lämpimissä vesissä (+25 °C), mutta tuhoutuvan hyvin syvällä tai mutaan hautautuneina (Moravcová ym. 2001). Ilmastonmuutos voi uhata tätä lyhytikäistä lajia epäsuorasti merenpinnan nousun, jääeroosion vähenemisen, kasvupaikkojen rehevöitymisen, mudan ja lietteen kerääntymisen ja muun kasvillisuuden kilpailun vuoksi.

Suojelu ja hoito: Kasvustojen kehitystä ja elinympäristön laatua on seurattava. Upossarpion kasvustot rannikon ruovikoituneissa lahdissa ja jokisuistoissa ovat vähentyneet sukkession seurauksena. Rantaniittyjen hoito niittämällä tai laiduntamalla ei juuri auta tätä vedessä kasvavaa lajia. Upossarpio on edelleen runsas merellä saarten ympäristössä matalilla hietarannoilla. Noin puolet esiintymistä on suojeltuja.

3.3.

Lapinhilpi (*Arctagrostis latifolia*)

Levinneisyys: Lapinhilpi on pohjoinen laji. Suomessa sitä kasvaa noin viidellä erilisellä alueella Lapissa.

Kasvupaikat: Kasvupaikat ovat avoimia, niukkakasvuisia kosteikkoja ja kasvustot ovat elinvoimaisia. Laji hyötyy häiriöistä (Kemper & Macdonald 2009).

Lisääntyminen: Lapinhilpi on pitkäikäinen, kasvullisesti leviävä heinä. Se hyötyy lämmöstä (mm. Engelskjøn ym. 2003). Huippuvuorilla lajia pidetään 7 000 – 25 000 vuotta ennen ajanlaskun alkua vallinneen lämpimän ilmastokauden reliktinä, jolloin keskilämpötila oli 1–2 astetta nykyistä korkeampi. Lapinhilpi kukkii Huippuvuorilla myöhään eikä yleensä ehdi tuottaa lainkaan siemeniä (Engelskjøn ym. 2003; Alsos ym. 2013). Suomessakin laji kukkii ja tuottaa siementä ilmeisen heikosti. Toisin kuin heinillä yleensä, lapinhilpin siemenet eivät leviä kovin kauas emokasvustosta. Siemenet ovat huonosti säilyviä, sillä lajin siemeniä ei yleensä ole mukana maaperän siemenpankissa (Kemper & McDonald 2009).

Sopeutumiskyky: Lapinhilpi ei Suomessa kärsine kovin nopeasti ilmaston lämpenemisestä, ellei kesän lämpötilan nousu aiheuta maaperän kuivumista ja muun kasvillisuuden, etenkin pensaikon, leviämistä kasvupaikoille. Uusille paikoille leviäminen riippuu sopivien kosteiden, niukkakasvien ja happamuudeltaan lähellä neutraalia olevien habitaattien saatavuudesta ja siementen leviämisestä. Lajia on tutkittu kohtalaisen paljon ja tulokset ovat osittain ristiriitaisia. Lapinhilpin on toisaalta havaittu hyötyvän lämpötilan noususta (mm. Marchand ym. 2004 ja 2005), toisaalta sen on arvioitu häviävän Fennoscandiasta ilmastomuutoksen seurauksena (Saetersdal ym. 1998).

Vaikka arktiset lajit ovatkin sopeutuneet alhaisiin lämpötiloihin, on fotosynteesin optimilämpötila kuitenkin myös näillä lajeilla nykyistä korkeampi ainakin keskimääräisinä vuosina. Hill & Henry (2011) havaitsivat, että Ellesmere Islandilla Kanadan tundralla talviset lämpötilat ovat nousseet jyrkästi samalla kun kesälämpötila on säilynyt ennallaan ja kasvillisuuden biomassat ovat kasvaneet 1980-luvulta vuoteen 2005 tultaessa. Biomassan lisääntymistä ei havaittu viiden vuoden lämpenemisen aikana, mutta trendi oli selvä 25 vuoden aikajänteellä. Biomassan lisääntyminen näkyi myös lapinhilpin kasvustoissa. Lämpötilan nousun on todettu lisäävän lapinhilpin kasvua myös Zackenbergin tutkimusasemalla Grönlannin koillisosassa (Marchand ym. 2004), myös lyhytaikaisen kesäkauden lämpökäsittelyn (+2,5 °C) jälkeen (Marchand ym. 2005).

Puuston ja pensaikon leviäminen pohjoiseen voi osoittautua uhaksi lajille. Landhausser & Wein (1993) havaitsivat, että Inuvikissa, Kanadan Luoteisterritorioissa lapinhilpi kolonisoi 1970-luvulla vuoden 1968 palon jälkeisiä alueita, mutta taantui 20 vuodessa puustoisella tundralla, kun taas avoimella tundralla kasvustot pysyivät vakaina. Lajin kasvustojen on todettu Kanadan tundralla säilyvän hyvin niillä paikoilla, joille se on joskus päässyt leviämään. Vakiintumista auttaa maaperän aukkoisuus (Kemper & Macdonald 2009).

Elinympäristön rehevöityminen ei liene uhka, ellei se aiheuta puuston tai pensaston lisääntymistä kasvupaikalla. Shaver ym. (2001) totesivat, että typen ja fosforin lisäys 15 vuoden aikana Alaskassa (Toolik Lake) runsastutti lapinhilpin kasvustoja. Pensaikon lisääntyminen taannutti kasvustoja jonkun verran, mutta kokeen loputtua lapinhilpi runsastui edelleen.

Pitkäaikainen lämpötilan nousu voi vähentää maaperän kosteutta ja siten aiheuttaa kosteiden kasvupaikkojen kasvien taantumisen. Grönlannin Zackenbergissa havaittiin vuosien 1997–2008 välillä 1,8–2,7 asteen lämpötilan nousu kesäkuukausina. Samaan aikaan todettiin lievä lumipeitteen väheneminen. Sen ei kuitenkaan ole todettu vaikuttaneen merkittävästi kesän kosteusoloihin muissa elinympäristöissä kuin letoilla (Schmidt ym. 2012). Lapinhilpin peittävyys todettiin kuitenkin laskeeneen kostoniitiillä.

Suojelu ja hoito: Kaikki lapinhilpin tunnetut Suomen kasvupaikat ovat suojeltuja eikä niillä ole ainakaan välitöntä hoitotarvetta. Elinympäristön kehitystä tulee seurata.

3.4.

Pikkupohjansorsimo (*Arctophila fulva* var. *pendulina*)

Levinneisyys: Pohjansorsimon levinneisyysalue on laaja ja sirkumpolaarinen, mutta sen variaatio pikkupohjansorsimo (var. *pendulina*) on endeeminen Suomessa ja Ruotsissa Pohjanlahdella sekä Tornionjoella.

Kasvupaikat: Pikkupohjansorsimo kasvaa eri tavoin häiriöalttiilla kasvupaikoilla, joissa on runsaasti paljasta maata kasvustojen leviämistä ja juurtumista varten. Näitä kasvupaikkoja ovat matalat hienojakoiset laidunrannat (Kainuunsaaret Tornionjoella) tai jokisuistot (Liminganlahti Temmesjoen suistossa).

Lisääntyminen: Pikkupohjansorsimo on ilmeisen lyhytikäinen monivuotinen heinä. Se leviää kasvullisesti version ja juurakon kappaleista jään ja veden mukana. Laji kukkii harvoin, ei tuota Suomessa itämiskykyistä siementä eikä sillä siten ole ainakaan meillä siemenpankkia (Rautiainen ym. 2004). Kasvustojen geneettinen diversiteetti on silti suuri (Kreivi ym. 2005; Kreivi 2009), mikä osoittaa, että suvullista lisääntymistä on ajoittain tapahtunut. Suvullisen lisääntymisen puuttuessa populaation geneettinen rakenne kuitenkin heikkenee ja laji voi taantua (McKendrick 1991; Kreivi ym. 2005).

Alaskan tundralla vetäytyvän jäätikön reunalla pohjansorsimo esiintyy lähes kasvittomissa lammikoissa pioneirilajina (Billings & Peterson 1980). Siellä suvullista lisääntymistä on havaittu säännöllisesti, etenkin lämpiminä kasvukausina (McKendrick 1991). Siemenet myös säilynevät maaperässä ainakin jonkin aikaa.

Sopeutumiskyky: Viime vuosikymmeninä (1972–2008) sorsimokasvustojen on todettu laajentuneen Alaskassa (Goswami 2011). Lämpeneminen ei sinänsä liene pohjansorsimon pahin uhka, sillä lämmöllä voi olla parantava vaikutus siementuottoon (mm. McKendrick 1991). Alahuhdan ym. (2018) mukaan helofyytit hyötyvät ilmaston lämpenemisestä pohjoisissa järvissä. Pohjansorsimo on kuitenkin avointen eroosiorantojen sukkessiolaji, jonka kasvuolosuhteita Pohjanlahdella tulevat heikentämään ilmastomuutoksen aiheuttama jääeroosion väheneminen, rantojen rehevöityminen ja siitä seuraava umpeenkasvu. Kasvupaikkojen tulevaisuutta Suomessa uhkaa myös laidunnuksen loppuminen. Kasvustojen tila on vaihdellut suuresti Liminganlahdella vedenkorkeuden vaihteluiden mukaan.

Suojelu ja hoito: Ruovikon sisällä olevat pikkupohjansorsimokasvustot häviävät ilman hoitoa (Rautiainen ym. 2004). Laji säilynee avoveden tuntumassa, etenkin jos Liminganlahden tulvadynamiikka palautuu. Temmesjoen suiston ennallistaminen käynnistettiin keväällä 2019. Liminganlahden populaatioita on hoidettu tuloksellisesti käsin niittämällä ja raivaamalla 2010-luvulla (Markkola 2016a). Tornionjoella laidunnus ylläpitää populaation vakautta. Kaikki paikat ovat suojeltuja. ESCAPE Life -hankkeessa on kokeiltu versojen siirtoa kolmelle uudelle paikalle, joista yhdellä laji säilyi ainakin seuraavaan vuoteen (Markkola 2016a).

Tunturiarho (*Arenaria pseudofrigida*)

Levinneisyys: Tunturiarho kasvaa Euroopan ja Venäjän arktisilla alueilla, Suomessa vain Kuusamossa.

Kasvupaikat: Suomessa tunturiarhon kasvupaikat ovat kuivia, niukkakasvuisia ja niukkahumuksisia kalkkikallioita. Huippuvuorilla tunturiarhoa kasvaa 30–70 vuotta sitten jäältä paljastuneilla niukkakasvuisilla moreenimailla, ja sen on todettu pysyvän säilyttämään kasvupaikkansa vielä 70–100 vuotta sitten jäältä paljastuneilla alueilla. Sitä ei tavata lainkaan heti jään vetäytymisen jälkeen paljastuneella maalla (Moreau ym. 2008). Tunturiarho kasvaa niukkakasvuisilla paikoilla myös Grönlannissa (Nabe-Nielsen ym. 2017). Ruotsin ja Norjan tunturikasvillisuuden kehityksestä tehdyssä tutkimuksessa tunturiarhon todettiin esiintyvän äärevillä kasvupaikoilla (Odland 2014).

Lisääntyminen: Tunturiarho on monivuotinen, tiheinä tuppaina kasvava kasvi. Se kukkii hyvin ja tuottaa paljon siemeniä, jotka säilynevät ainakin jonkin aikaa maaperässä. Siementen leviämiskyky on kuitenkin heikko, pääosa siemenistä varisee emokasvien juurelle. Taimien vakiintuminen vaatii niukkakasvuisen maan. Laji leviää paikallisesti kasvullisesti.

Sopeutumiskyky: Pitkäikäisenä tunturiarho säilynee melko hyvin nykyisillä kasvupaikoillaan, mikäli ne pysyvät suhteellisen avoimina. Kasvupaikkojen umpeenkasvukehitys lienee hidasta. Myöskään lumipeitteen väheneminen ei liene uhka lähiaikoina Kuusamossa. Lajille sopivia rapautuvia kalkkikallioita on Suomessa niukasti Kuusamoa pohjoisempana, ja lajin heikko leviämiskyky on esteenä sopivien habitaattien löytämiselle.

Ruotsissa ja Norjassa tunturiarhon arvioitiin reagoivan negatiivisesti nykyistä lämpimämpään ilmastoon, joka mahdollistaa korkeampien ja kilpailullisesti vahvempien kasvien vakiintumisen sen kasvupaikoille (Odland 2014). Odland arvioi myös lumipeitteen vähenemisen olevan kriittinen tekijä alpiinisille, äärevissä olosuhteissa kasvaville lajeille.

Suojelu ja hoito: Suurin osa tunturiarhon kasvupaikoista on suojeltuja. Paikoilla ei ainakaan toistaiseksi ole hoitotarvetta. Populaatioiden kehitystä ja lajin siirtymisten todennäköisyyttä uusille paikoille tulee kuitenkin seurata. Tuoretta tietoa populaatiokoosta ja sen kehityksestä on niukasti.

Perämerenketomaruna (*Artemisia campestris* subsp. *bottnica*)

Levinneisyys: Ketomaruna (*Artemisia campestris*) on laaja-alaisesti esiintyvä kasvi. Perämerenketomaruna on sen alalaji *bottnica*, joka on endeeminen Suomelle ja Ruotsille. Sitä kasvaa vain Perämeren pohjukassa. Perämerenketomaruna oli aiemmin huomattavasti nykyistä yleisempi ja runsaampi Perämeren hiekkarannoilla. Rantojen umpeenkasvu ja risteytyminen kiiltoketomarunan (*A. campestris* subsp. *campestris*) kanssa on hävittänyt sen useimmilta kasvupaikoilta. Puhtaaksi arvioitua perämerenketomarunaa kasvaa vain Tornion Vähä-Huiturissa ja Hailuodon Marjaniemessä. Ruotsissa perämerenketomaruna on hyvin harvinainen.

Kasvupaikat: Ketomaruna on kuivien ja lämpimien, niukkakasvisten ja niukkara-vinteisten kasvupaikkojen kasvi. Perämerenketomarunallakaan ei tiedetä olevan muita erityisiä kasvupaikkavaatimuksia. Perämerenketomarunalle sopivia hiekkai-sia kasvupaikkoja olisi edelleen hiekkarannoilla sekä teiden ja rautateiden varsilla. Kiiltoketomaruna on kuitenkin levittäytynyt niihin yleisenä ja runsaana sekä Oulun seudulla että Lounais-Lapissa.

Lisääntyminen: Marunat ovat monivuotisia. Yksilöt ovat pitkäikäisiä, kasvit kasva-vat tuppaina paljaalla hietikolla ja kukkivat yleensä runsaasti. Siementuotto on hyvä, mutta maaperän siemenpankki lienee lyhytikäinen. Laji ei leviä kasvullisesti. Pääosa siemenistä leviää emokasvien juurelle, mutta ne voivat levitä myös tuulen mukana paljasta hietikkaa myöten. Perämerenketomarunan kasvupaikkojen vähyys sekä kasvustojen pienuus ja sijainti saarissa vaikeuttaa leviämistä. Taimia ei ole yleensä kovin paljon, mutta ne vakiintuvat helposti avoimilla kohdilla. Kukkivia kasveja on Suomessa noin 1 000, ja esiintymät ovat hyvin erillisiä, mahdollisesti erilaistuneita.

Suojelu ja hoito: Pääkasvusto Torniossa on suojeltu. ESCAPE Life -hankkeessa lajin taimia istutettiin koeluonteisesti uusille paikoille. Istutetut taimet ovat vakiintuneet hyvin kolmen vuoden seurantajakson aikana (2014–2017, Hertta-tietojärjestelmän Eliölajit-osio 22.5.2018). Taimet ovat kasvaneet kukkiviksi ja tuottaneet siemeniä, mutta uusia taimia on syntynyt kovin vähän eikä populaatioiden lisääntymiskyvystä ole siten vielä varmuutta. Metsähallitus on hoitanut Tornion Vähä-Huiturin kasvu-paikkaa puustoa ja pensaikkaa raivaamalla. Hoitoa on tarkoitus jatkaa, ja siirtokokei-den tuloksia seurataan edelleen. Lajin säilymisen edellytyksenä on populaatiokoon kasvattaminen ja tarvittaessa uusittavat kasvupaikkojen hoitotoimet, kuten puuston ja pensaikon raivaus ja risteytymisen estäminen.

3.7.

Serpentiiniraunioinen (*Asplenium adulterinum*)

Levinneisyys: Serpentiiniraunioista tavataan harvinaisena Euroopassa ja Kanadas-sa. Suomen kasvupaikat ovat Salossa, Juuassa ja Kaavilla.

Kasvupaikat: Kasvupaikat ovat varjoisia tai puoliavoimia serpentiiniittikallioita.

Lisääntyminen: Serpentiiniraunioinen on tuppaina kasvava talvivihreä saniainen. Se on syntynyt tummaraunioisen (*A. trichomanes*) ja viherrauraunioisen (*A. viride*) ris-teymänä ja kromosomiluku on sen jälkeen kahdentunut. Laji risteytyy edelleen tum-maraunioisen kanssa, ja risteymäyksilöitä on havaittu myös Suomen kasvupaikoilla.

Geneettisiltä ominaisuuksiltaan serpentiiniraunioisen yksilöt ovat yhdessä popu-laatioissa melko samanlaisia, mutta koska populaatiot ovat hyvin erillisiä, niiden vä-lillä on voimakasta erilaistumista. Tämä johtunee itsepölytyksen yleisyydestä, mutta ristipölytystäkin jonkin verran tapahtuu. Isoissa populaatioissa geneettinen vaihtelu on suurinta (Bucharová & Münzbergová 2012). Laji on pitkäikäinen ja populaatiot ovat vakaita, nuoria yksilöitä syntyy säännöllisesti. Yksilöt lisääntyvät pääasiassa suvullisesti, mutta paikallisesti tapahtuu kasvullista leviämistä haaroivan maavarren avulla. Lajin itiöpankki on todennäköisesti hyvin säilyvä.

Sopeutumiskyky: Serpentiiniraunioinen ei liene ensimmäisiä häviäjiä ilmaston-muutoksen vuoksi. Laji on kohtuullinen kolonisoija paikallisesti, mutta erityisten

kasvupaikkavaatimustensa ja harvinaisuutensa vuoksi sen lieene vaikea löytää uusia kasvupaikkoja, jos ilmastonmuutos tekee nykyisillä paikoilla säilymisen mahdottomaksi. Keski-Euroopassa on edelleen sopivia kasvupaikkoja tarjolla, mutta laji ei ole pystynyt huonon leviämiskykynsä vuoksi niitä löytämään (Tájek ym. 2011). Tájek ym. (2011) havaitsivat lajin kasvupaikkojen olevan mantereisia ja pienilmastoltaan hyvin ääreviä, joten ilmastonmuutoksen aiheuttama kalliojyrkänteiden ajoittainen kuivuminen ja lumettomuus eivät liene lajille haitallisia. Suomessakin on havaittu kuivuudesta kärsineiden raunioispopulaatioiden elpyvän sateisen kesän jälkeen. Pienten populaatioiden ja vanhojen yksilöiden on todettu häviävän helpoiten, mutta lajin häviämisen todennäköisyys on pieni: lajilla on yli 50 %:n todennäköisyys säilyä seuraavat 50 vuotta (Bucharová ym. 2010).

Suojelu ja hoito: Yhtä pientä kasvustoa lukuun ottamatta kaikki serpentiiniraunioisen kasvupaikat ovat suojeltuja. Lajin menestymistä nykyisillä kasvupaikoillaan on seurattava, ja populaatioita on tarvittaessa vahvistettava. Laji ei kestä kilpailua, joten joillakin paikoilla umpeenkasvu voi tulla uhaksi ilmaston lämmetessä ja sateiden lisääntyessä (Tájek ym. 2011), ja tällöin voidaan tarvita pienimuotoisia hoitotoimia. Erityisten elinympäristövaatimustensa ja heikon leviämiskykynsä vuoksi lajin on vaikea löytää uusia kasvupaikkoja.

3.8.

Pikkunoidanlukko (*Botrychium simplex*)

Levinneisyys: Pikkunoidanlukkoa tavataan harvinaisena eri puolilla Eurooppaa, Japanissa ja Pohjois-Amerikassa. Globaalisti laji on hyvin vaihteleva, siitä on nimetty useita erilaisiin habitaatteihin ja kosteusoloihin sopeutuneita variaatioita. Suomessa lajia on aiemmin tavattu eri puolilta Etelä-Suomea Kainuuseen asti, mutta lajin on useimmilta paikoilta todettu hävinneen umpeenkasvun vuoksi. Jäljellä olevat kasvupaikat keskittyvät Ahvenanmaalle ja Lounais-Suomeen.

Kasvupaikat: Kasvupaikat ovat enimmäkseen avoimia merenrantaniittyjä ja ohut-humuksisia merenrantakallioita. Lajin esiintyminen vaihtelee vuosittain erittäin paljon ympäristökijöiden vaihtelun ja demografisten syiden vuoksi. Laji vaatii kasvupaikoillaan kosteutta, mutta se sietää melko hyvin kosteusolojen vaihteluita (Anderson 2006). Noidanlukkojen populaatiokoko vaihtelee eri paikoilla eri tavoin muun muassa mikrohabitaattien kuivuuden ja kosteuden, herbivorien ja mykorritsasienten esiintymisen mukaan. Pikkunoidanlukko on huono kilpailija ja hyötyy keveyestä tai kohtalaisesta häiriöstä kasvupaikoillaan (Anderson 2006).

Lisääntyminen: Pikkunoidanlukko on lyhytikäinen itiökasvi, jonka itiötuotto on erittäin hyvä. Itiöt kuitenkin leviävät huonosti ja suurin osa niistä varisee emokasvien juurelle tai enintään noin kolmen metrin päähän (Anderson 2006). Joskus itiöt kuitenkin leviävät tuulten mukana hyvinkin kauas. Heikko leviämiskyky estää lajia löytämästä uusia sopivan kosteita kasvupaikkoja. Geenivirta kasvustojen välillä lieene vähäistä (Anderson 2006). Noidanlukkoilla on maaperässä hyvin säilyvä itiöpankki, joka on suurin aivan kasvustojen kohdalla. Hollannissa on havaittu hyvin säilyneitä noidanlukkojen itiöitä veden alta paljastuneessa maaperässä (de Groot & During 2013).

Sopeutumiskyky: Laji kykenee kaukolevintään, ja se pystyy siten joskus saavuttamaan uusia kasvupaikkoja. Noidanlukkoilla on vahva yhteys sienijuureen kaikissa elämänkierron vaiheissa, ja se on kosteuden lisäksi tärkein tekijä noidanlukkojen

vakiintumisessa ja säilymisessä kasvupaikoillaan (Johnson-Groh & Lee 2002; Anderson 2006). Noidanlukkojen sienijuurisieniä ei kuitenkaan tunneta eikä niitä tekijöitä, jotka ovat tärkeitä noidanlukkojen ja sienten yhteyksien syntymisessä.

Suojelu ja hoito: Kaksi kolmasosaa tunnetuista lajin kasvupaikoista on suojeltuja. Lajilla voi olla enemmän paikkoja Lounais-Suomessa kuin nyt tunnetaan, sillä sen havaitseminen on hankalaa itiöemien lyhytaikaisuuden ja pienikokoisuuden sekä vuotuisten vaihteluiden vuoksi. Osaa Suomen kasvupaikoista laidunnetaan. Sopivien kosteiden, mutta avointen ja kasvillisuudeltaan aukkoisten kasvupaikkojen saatavuus lieenee pikkunoidanlukon, kuten muidenkin noidanlukkojen esiintymistä eniten rajoittava tekijä. Lämpötilan nousu ei sinänsä ole ongelma, mutta kasvupaikkojen kosteusolojen säilyminen ja sopivien sieniyhteyksien saatavuus ovat kriittisiä tekijöitä. Tulevaisuudessa joillakin kasvupaikoilla voidaan tarvita hoitotoimia. Laidunnusta tulee jatkaa nykyisin laidunnuksessa olevilla paikoilla kasvillisuuden pitämiseksi laikuittaisena.

3.9.

Neidonkenkä (*Calypso bulbosa*)

Levinneisyys: Neidonkenkä kasvaa laajalla alueella Euraasian ja Pohjois-Amerikan boreaalisilla alueilla. Suomessa neidonkenkä on pohjoinen laji, jonka runsaimmat esiintymät ovat Lapin Kolmiossa ja Kuusamossa. Lajilla on aiemmin ollut maan eteläosissa joitakin erillisiä kasvupaikkoja. Nykyään eteläisimmät esiintymät ovat päälevinneisyysalueesta hyvin erillään Itä-Suomessa.

Kasvupaikat: Neidonkenkä kasvaa yleensä runsaslahopuustoisissa kosteissa vanhoissa metsissä. Se on kalkinsuosija.

Lisääntyminen: Neidonkenkä on monivuotinen ja pitkäikäinen kämmekkä. Se kukkii varhain alkukesällä. Neidonkengän kukissa ei ole mettä, ja siksi vain muutamat kimalaislajit pölyttävät niitä (Efimov ym. 2012). Tehokkaimmiksi pölyttäjiä todettiin Kuusamossa pelto- ja pensaskimalaiset, joiden yksilömäärät olivat kuitenkin vähäiset (Wannas 2009). Jos kukinta on liian varhain, pölyttäjiä ei ehkä ole riittävästi saatavilla. Neidonkenkä on siten pölytsrajoitteinen. Itsepölyttäneissä kukissa on suurempi osuus huonosti kehittyneitä embryoita kuin ristipölytteisissä (Efimov ym. 2012). Kotatuotanto on Kuusamossa yleensä noin 30 prosenttia, lämpiminä keväinä suurempi. Kotien tuhoutumisista 67 prosenttia aiheutui herbivoriasta (Wannas 2009). Neidonkengän siementuotto on kuitenkin erittäin hyvä (Abeli ym. 2013). Pienet siemenet leviävät herkästi tuulen mukana, mutta sulkeutuneissa metsissä leviämiskyky on rajallinen. Pääsääntöisesti siemenet laskeutuvat metsässä emokasvien lähelle ja kasvit muodostavat tiheitä ryhmiä. Lajilla ei ole varsinaista kasvullista leviämistä, mutta yksilöt voivat muodostaa useita mukuloita. Pitkäikäisyytensä ansiosta kasvit säilyvät pitkään kasvupaikoillaan ja voivat piileskellä maanalaisten mukuloidensa turvin sammalpeitteen alla useita vuosia. Lajin siemenpankista ei ole tietoja.

Sopeutumiskyky: Levinneisyysalue on Suomessa melko laaja ja populaatiokoko on suuri, lisäksi päälevinneisyysalueella on edelleen paljon lajille sopivia kasvupaikkoja tarjolla. Lajilla ei siten ole akuuttia häviämisaavaa. Erityiset habitaattivaatimukset ja sopivien sienijuurten saatavuus kuitenkin rajoittavat kasvien leviämistä uusille paikoille. Neidonkenkää pidetään hyvin herkkänä ilmastonmuutokselle etenkin muuttuvien kosteusolojen vuoksi (Lee ym. 2011). Tiheä kasvillisuus ja lumipeite suojaavat yöllisiltä pakkasilta. Lumipeitteen katoaminen voi hävittää eteläiset eril-

lisesiintymät (Jäkäläniemi ym. 2011). Laji tulee säilymään globaalisti, koska se on laajalle levinnyt, mutta esimerkiksi Yhdysvaltojen Michiganissa on todettu jyrkkää populaatiokoon laskua (Lee ym. 2011).

Lajin säilymistä eriasteisissa suojaavan puuston hakkuissa selvitettiin Lapin Kolmion kasvupaikoilla (Huhta 2016). Todettiin, että pienaukkojen lähellä kasveja esiintyi enemmän kuin sulkeutuneissa paikoissa. Ilmeisesti pienaukkojen tuoma valoisuus edisti kasvien esiintymistä ja levittäytymistä niiden läheisyyteen. Isojen aukkojen reunoilla kasvia oli vähemmän kuin metsän sisäosissa. Kukkinneiden ja pölyttyneiden kasvien määrät eivät kuitenkaan eronneet metsänreunoissa metsän sisäosista. Miltään harvennushakkuupaikalta neidonkengä ei hävinnyt 10 vuoden seurantajaksolla. Kukinta ja lisääntymismenestystä kuvaava pölyttymismenestys vaihtelivat vuosittain samansuuntaisesti koe- ja kontrolliruuduissa. Käsittelyn intensiteetillä ei myöskään havaittu olevan vaikutusta neidonkengän säilymiseen ja lisääntymiseen, sillä lisääntymismenestys vaihteli vuosittain samalla tavalla eri käsittelyissä. Oleellista oli, että hakkuiden yhteydessä maanpintaa ei aurattu eikä äestetty ja hakkuutähteet vietiin pois.

Huhdan kokeissa ei ollut mukana avohakattuja kohteita. Kasvien on todettu häviävän helposti avohakkuualoilta, joilla paikalliset pienilmasto-olot ovat usein paljon äärevämmät kuin metsän suojassa, etenkin kasvien kukinta-aikaan. Myös siementuoton on todettu olevan huonompaa avoimilla paikoilla (Abeli ym. 2013). On selvittämättä, kuinka hyvin neidonkengä pystyy levittäytymään takaisin aiemmille kasvupaikoilleen avohakkuiden jälkeen. Ruotsissa neidonkengän todettiin häviävän kaikilta metsänkäsittelyaloilta, myös sellaisilta, joilta oli poistettu puustoa vain osittain (Mokonya 2010).

Suojelu ja hoito: Noin puolet neidonkengän kasvupaikoista on suojeltuja. Eniten suojelun ulkopuolella olevia kasvupaikkoja on Lapin Kolmiossa, missä avohakkuut ovat edelleen selkeä uhka. Lajin havaittavuus kukinta-ajan ulkopuolella on heikko eivätkä kaikki kasvupaikat ole tiedossa. Tunnetut kasvupaikat pyritään ottamaan huomioon metsänhoidossa.

3.10.

Tundrasara (*Carex holostoma*)

Levinneisyys: Tundrasaralla on laaja arktinen levinneisyys. Suomessa se kasvaa pääasiassa pohjoisilla tuntureilla Utsjoella ja Enontekiöllä, erillisesiintymiä on boreaalisen alueen pohjoisosassa.

Kasvupaikat: Tundrasara on niukkakasvuisten tai paljaiden, kosteiden tunturikallioiden sara. Se kasvaa löyhinä kasvustoina usein kallioiden valuvesipaikoilla, harvemmin soilla.

Lisääntyminen: Tundrasara on pitkäikäinen, etupäässä kasvullisesti leviävä sara. Lajin siementuotto on kohtalainen. Siemenet leviävät tuulen ja veden mukana, mutta vain paikallisesti.

Sopeutumiskyky: Lämpötilan nousu ei liene uhka tundrasaralle, mutta kasvupaikkojen rehevöityminen ja muun kasvillisuuden aiheuttama umpeenkasvu voivat muodostua uhaksi. Lisäksi lumipeitteen häviäminen tai valuvesikallioiden kuivuminen kesäaikaan voi rajoittaa lajin säilymistä. Lämpötilan noston ja lannoitteiden lisäyksen on todettu kasvattavan heinien ja sarojen kasvua niukkaravinteisilla niityillä, joiden kasvillisuus oli alkuaan vähäistä. Alaskassa todettiin pensaikon lisääntyvän

heinä-sara-vaiheen jälkeen, ja tällöin muu kasvillisuus joutui väistymään (Molau & Alatalo 1998).

Suojelu ja hoito: Lähes kaikki tundrasaran Suomen esiintymät ovat suojelualueilla. Kukkimattomana tundrasaran voi helposti sekoittaa muihin tunturien saroihin eikä kaikkia kasvupaikkoja välttämättä vielä tunneta. Melko paljon uusia esiintymiä on löydetty aivan viime vuosina. Paikoilla ei ole hoitotarvetta.

3.11.

Hajuheinä (*Cinna latifolia*)

Levinneisyys: Hajuheinällä on laaja sirkumpolaarinen levinneisyys boreaalisilla alueilla. Suomessakin hajuheinää tavataan aivan etelästä Rovaniemelle asti. Esiintymiä on kohtalaisen paljon, ja populaatiokoko on suuri.

Kasvupaikat: Hajuheinä kasvaa niukkakasvuisella tai paljaalla maalla, purojen varsilla ja niiden läheisyydessä. Ermakovin ja Makhatkovin (2011) mukaan hajuheinä suosii lämpöä ja välttää pitkään routaisena pysyviä maita.

Lisääntyminen: Hajuheinä on löyhästi mätästävä, melko lyhytikäinen heinä. Se kukkii runsaasti ja siementuotto on kohtalainen. Hajuheinällä on automaattinen itsepölytys, mutta ristipölytys tuulen avulla voi olla mahdollinen. Siemenet eivät leviä kauas, vaan ne varisevat passiivisesti kasvupaikalle. Purojen varsilla siemenet voivat levitä tuulen ja veden mukana. Kasvi leviää myös kasvullisesti haarovan juurakon avulla.

Sopeutumiskyky: Heinäkasvit eivät ole herkkiä ilmastonmuutoksen aiheuttamalle lämpenemiselle. Jos elinympäristön kosteus ja suojaisuus pysyvät ennallaan, kasvustot säilyvät samoilla paikoilla vuosikymmeniä. Laji kärsii kuitenkin kasvupaikkoja kuivattavista hakkuista ja ojituksista ja niiden aiheuttamasta muun kasvillisuuden umpeenkasvusta. Lajin leviämiskyky on heikko eikä sopivia kasvupaikkoja ole aina saatavilla levintäetäisyydellä. Dahlskogin (1980) mukaan hajuheinää pidetään Ruotsin Lappmarkissa reliktinä aiemmasta, yhtenäisemmästä levinneisyysalueesta. Näin voisi arvioida myös Rovaniemen erillisesiintymän olevan relikti lämpimämmältä kaudelta.

Suojelu ja hoito: Vain kolmannes hajuheinän esiintymistä on suojeltuja. Laji otetaan huomioon metsätaloudessa, mutta etenkin kukkimattomana sitä on hankala tunnistaa. Monet kasvupaikat ovat metsälakikohteita.

3.12.

Lapinleinikki (*Coptidium lapponicum*)

Levinneisyys: Lapinleinikillä on laaja sirkumpolaarinen levinneisyys sekä boreaalisella että arktisella alueella. Suomessa levinneisyyden painopiste on pohjoisessa, eteläisimmät esiintymät ovat Pohjois-Savossa. Lajilla on hyvin paljon kasvupaikkoja ja populaatiokoko on suuri. Todennäköisesti osa esiintymistä on vielä löytymättä.

Kasvupaikat: Lapinleinikki kasvaa niukkakasvuisilla, kosteilla ja viileillä paikoilla, veden läheisyydessä. Kasvupaikat ovat luhtaisia ja lähteisiä korpia. Monet kasvustot ovat pieniä laikkuja korven märimmillä paikoilla tai valuvesikohdissa.

Lisääntyminen: Lapinleinikki on lyhytikäinen monivuotinen kasvi. Se lisääntyy suvullisesti, mutta leviää helposti kasvullisesti pitkän, nivelistä juurehtivan maavarren avulla. Lajin maavarsi voi olla syvällä sammalikossa ja vain muutama lehti voi olla näkyvissä. Kukkimattomana sitä on siten hyvin vaikea huomata. Mykorritsasienet edistävät lapinleinikkien selviytymistä etenkin pohjoisilla leveysasteilla (Walker ym. 2010).

Lapinleinikin siementuotto on kohtalainen, mutta siementen leviäminen heikkoa. Siemenet pääasiassa varisevat passiivisesti emokasvien juurelle, joskus ne voivat kulkeutua veden mukana. Alaskassa todettiin lapinleinikin siementen vaativan melko korkeaa itämislämpötilaa (Bliss 1958). Huippuvuorilla laji ei tuota lainkaan itävää siementä. Lapinleinikkiä pidetään lämpöä suosivana lajina, joka kasvaa Huippuvuorilla levinneisyytensä äärirajalla. Huippuvuorten kasvustot ovat jäänteitä 9 000 – 4 000 vuotta sitten vallinneesta lämpökaudesta, jolloin keskilämpötila oli 1–2 astetta korkeampi kuin nykyisin.

Sopeutumiskyky: Lämpöä suosivana lajina lapinleinikki ei kärsine ilmastonmuutoksesta. Ilmaston lämpenemisen aiheuttama kasvupaikkojen kuivuminen ja muun kasvillisuuden kilpailu voivat kuitenkin olla uhkia tulevaisuudessa.

Suojelu ja hoito: Tunnetuista kasvupaikoista lähes puolet on suojeltuja, tosin lajin esiintyminen tunnetaan todennäköisesti parhaiten suojelualueilta. Joillakin kasvupaikoilla on ennallistamistarvetta.

3.13.

Pahtaketokeltto (*Crepis tectorum* subsp. *nigritula*)

Levinneisyys: Pahtaketokeltto on yleisen ketokelton (*C. tectorum*) alalaji. Suomessa se on levinneisyytensä pohjoisrajoilla. Levinneisyysalue ulottuu Fennoskandiasta Koillis-Venäjän Jakutiaan. Suomessa on muutama esiintymä Kevon Linkkapahdalla ja Kuusamossa Oulangan kalkkikallioilla.

Kasvupaikat: Pahtaketokeltto kasvaa paljailla tai niukkakasvuisilla rapautuvilla kallioilla ja pahdoilla.

Lisääntyminen: Pahtaketokeltto on lyhytikäinen monivuotinen, pääjuurellinen, keran kukkiva hemikryptofyytti. Laji on ristipölytteinen, mutta itsepölytys on mahdollinen. Pölyttäjinä ovat hyönteiset. Kasvit kukkivat melko aikaisin, mutta kukinta vaihtelee suuresti vuosittain sääolojen mukaan. Siementuotto on yleensä hyvä. Pahtaketokelton pähkylöissä on lenninhaiven, joten leviämiskyky on kohtalainen tuulen mukana. Sillä ei ole kasvullista lisääntymistä.

Sopeutumiskyky: Pahtaketokeltolla lienee lyhytikäinen siemenpankki, jonka turvin se pystyy säilymään kasvupaikoillaan yli epäedullisten vuosien. Tuulen mukana laji pystyy herkästi levittäytymään uusille paikoille. Hyvä kolonisaatiokyky on johtanut siihen, että keltolla on paljon erilaisiin ympäristöoloihin, kuten kuivuuteen ja valaistusoloihin sopeutuneita alalajeja ja muotoja (Andersson & Shaw 1994). Tämä hyvä kolonisaatiokyky näyttäisi olevan myös pahtaketokeltolla, joka on Linkkapahdalla pystynyt levittäytymään useisiin kohtiin.

Kelton toisen alalajin (*pumila*) on todettu Öölannissa tuottavan erikokoisia siemeniä. Sen isot siemenet itävät loppukesällä, taimet talvehtivat ruusukkeina ja kasvit kukkivat seuraavana kesänä. Pienet siemenet jäävät helposti dormanssiin ja voivat säilyä itämiskykyisinä maaperän siemenpankissa vuosikausia. Pienet siemenet le-

viävät kauemmas kuin isot, jotka helposti jäävät kasvustojen lähelle. Siemenpankki on sopeutuma vaihteleviin paikallisiin ilmasto-oloihin, huonon vuoden yllättäessä kasvi voi siemenpankin turvin varmistaa uusien yksilöiden syntymisen parempana vuonna (Andersson 1996).

Suojelu ja hoito: Kaikki Suomen kasvupaikat ovat suojelualueilla eikä niillä ole tällä hetkellä hoitotarvetta. Lehtiruusukkeita on vaikea havaita, ja kukinta-aika on kohdalaista lyhyt. Jyrkillä kallioilla lajia on inventoitu kiikareilla, joilla kukkivat kasvit voi hyvin tunnistaa. Kaikkia kasvustoja ei ehkä vielä tunneta. Kevolla on kokeiltu kasvuston elvyttämistä ESCAPE Life -hankkeessa kylvämällä ja taimia istuttamalla. Istutetuista taimista muutama kehittyi kukkiviksi, mutta laji ei vakiintunut istutuspaikoille (Hertta-tietojärjestelmän Eliölajit-osio 23.5.2018). Uusien paikkojen pysyvä kolonisointi ei siten liene helppoa.

3.14.

Lehtotikankontti (*Cypripedium calceolus*)

Levinneisyys: Lehtotikankontin levinneisyysalue ulottuu Länsi-Euroopasta Itä-Aasiaan, ja se on kaikkialla harvinaistunut. Dahlskogin (1980) mukaan tikankontin nykyinen levinneisyys on jäänne aiemmalta, mantereiselta ilmastokaudelta, jolloin levinneisyysalue oli nykyistä laajempi. Suomessa tikankontilla on laaja levinneisyysalue Ahvenanmaalta Keski-Lappiin. Pohjoisessa esiintymiä on paljon ja populaatioko koko on suuri. Etelä-Suomessa on enää vähän paikkoja jäljellä, ja niiden yksilömäärät ovat pieniä.

Kasvupaikat: Lehtotikankontti kasvaa usein niukkakasvuisilla paikoilla, etelässä niityillä, metsänreunoissa ja lehdoissa, pohjoisessa myös soilla. Tikankontti on kalkinsuosija. Laji kärsii helposti muiden kasvien umpeenkasvusta ja varjostuksesta, varjoisilla paikoilla kukinta on niukkaa. Espanjassa tikankontin on todettu kukkivan hyvin korkeallakin vuoristossa (Tormosa), jos kasvupaikat ovat avoimia. Sen sijaan pienessä metsän sisällä olevassa populaatiossa (Ordesa) kukkia ei ole koskaan havaittu (García ym. 2010). Toisaalta metsä antoi suojaa, ja versojen kasvullinen leviäminen oli nopeinta metsässä.

Lisääntyminen: Lehtotikankontti on monivuotinen, pitkäikäinen kämmekkä. Aikuisyksilöiden pitkäikäisyys ja siemenpankin pysyvyys ovat oleellisia tekijöitä tikankontin populaatioiden säilymisessä kasvupaikoillaan. Virossa tikankontin juurakoiden on todettu olevan keskimäärin 30–35 vuotta vanhoja, yksilöiden keskimääräinen ikä vaihtelee 25–100 vuoden välillä (Nicolè ym. 2005). Nicolèn ym. (2005) mukaan aikuisten versojen dormanssilla on merkitystä lajin säilymisessä yli epäedullisten kausien. Tikankontti leviää tehokkaasti kasvullisesti haaroittuvan juurakkonsa avulla. Ainakin kasvun alkuvaiheessa sienijuuri on tarpeen.

Espanjassa jopa puolet tikankontin versoista on kukkivia ja siementuotto on hyvä (García ym. 2010). Pohjois-Suomessa kukkivien versojen osuus on noin 40 prosenttia ja Etelä-Suomessa yli 30 prosenttia (Laitinen 2006). Tikankontti on ristipölytteinen. Pölyttäjinä ovat hyönteiset, etenkin maamehiläiset. Bernhardt & Edens-Meierin (2010) mukaan Virossa kukista joka kymmenes ja Ruotsissa joka neljäs tuottaa siemeniä. Siitepölyn saatavuus heikentää siementuottoa, eri puolilla Eurooppaa siementuoton on todettu vaihtelevan 0–57 prosenttia (Kull 1998; Nicolè ym. 2005). Siemenet leviävät hyvin tuulen mukana, joskin metsissä leviämiskyky on avoimia kasvupaikkoja heikompi. Taimien kasvu on hidasta, taimettumisen edellytyksenä on vähäinen muu kasvillisuus sekä riittävä kasvupaikan valoisuus ja kosteus (Kull 1998). Kasvu sie-

menestä taimeksi kestää 8–10 vuotta ja kukintaiän saavuttaminen vie vielä paljon pidempään (Nicolè ym. 2005).

Sopeutumiskyky: Tikankontti on laajalle levinnyt ja sopeutunut monenlaisiin oloihin. García ym. (2010) tutkivat tikankontin lisääntymismenestystä levinneisyyden reuna- ja keskuspopulaatioiden välillä eikä siinä havaittu eroja. Lajin väheneminen johtuu elinympäristöissä tapahtuneista muutoksista eikä lajin rajoittumisesta tietyille ilmastoalueelle. Kaikilla paikoilla erot lajin esiintymisessä johtuivat elinympäristön valoisuudesta tai varjoisuudesta. Myös Ignatavicius & Toleikiene (2017) ovat todenneet, että tikankontti ei tule kovin paljon kärsimään ilmaston lämpenemisestä Liettuassa. Sienijuuren ja sopivien kalkkipitoisten kasvupaikkojen saatavuus kuitenkin heikentää lajin mahdollisuuksia levitä uusille paikoille.

Puolassa tikankontin populaatioiden ennustetaan säilyvän muuttumattomina seuraavat 100 vuotta, ellei kasvupaikkoihin kohdistu häiriöitä (Nicolè ym. 2005). Nuorimmat populaatiot ovat herkimpiä ympäristön muutoksille ja ne voivat tuhoutua seuraavien 250–500 vuoden kuluessa metsittymisen seurauksena. Suojelualueilla lajin ennustetaan kuitenkin säilyvän. Euraasiassa viimeisten 20 vuoden kuluessa havaittu tikankonttipopulaatioiden voimakas taantuminen johtunee elinympäristöjen nopeasta muuttumisesta, etenkin metsittymisestä. Metsätalouden tehostuminen ja toisaalta puuston varjostuksen lisääntyminen aiheuttavat tikankontille epäedullisia muutoksia valaistusoloihin, kosteuteen ja maaperän rehevöitymiseen.

Suojelu ja hoito: Noin puolet kaikista lehtotikankontin kasvupaikoista Suomessa on suojeltuja, mutta kaikki eteläiset paikat ovat suojelualueilla. Kasvupaikkoja on ollut mukana useissa Life-hankkeissa ja Metsähallituksen ennallistamishankkeissa (Laitinen 2006). Etenkin Etelä-Suomessa tikankonttilehtoja on hoidettu puustoa ja pensaikkoa raivaamalla ja kosteusoloja parantamalla. Ilmastomuutoksen ja siitä seuraavan rehevöitymisen myötä eteläisten esiintymien hoitotoimia tulee todennäköisesti tehostaa.

3.15.

Taigamyyränporras (*Diplazium sibiricum*)

Levinneisyys: Taigamyyränporras on itäinen laji, jonka päälevinneisyysalue ulottuu Euroopan itäosista Aasian länsiosiin. Erillisesiintymiä on eri puolilla Keski-Eurooppaa sekä Skandinaviassa ja Alpeilla, missä laji on levinneisyytensä länsireunalla. Suomessa taigamyyränportaalla on laaja levinneisyysalue, esiintymiä on paljon koko maassa.

Kasvupaikat: Taigamyyränporras kasvaa Suomessa niukkakasvuisilla paikoilla kosteissa vanhoissa metsissä, korvissa ja lähteiköissä sekä purojen varsilla. Se kasvaa sekä neutraalilla että kalkkipitoisella alustalla, mutta vaatii kasvupaikoiltaan kostean pienilmaston. Ermakovin ja Makhatkovin (2011) mukaan lajia tavataan Siperiassa pääasiassa etelä- ja keskiboreaalisessa vyöhykkeessä, ja pohjoisboreaalisella alueella on vain muutamia yksittäisiä kasvupaikkoja melko lämpimillä rinteillä ja jokivarssilla kuivahkoilla, sammaleisilla paikoilla. Myyränporras kuuluu Siperiassa lämpöä suosiviin eteläisiin havumetsien lajeihin, jotka välttävät pitkään routaisena pysyviä maita. Dahlskogin (1980) mukaan myyränportaan kasvustot pohjolassa ovat jäänteitä aiemmasta, nykyistä laajemmasta mantereisesta levinneisyydestä. Jäljellä ovat enää mikroilmastoltaan sopivat refugiot.

Lisääntyminen: Taigamyyränporras on pitkäikäinen saniainen. Laji lisääntyy sekä suvullisesti että tehokkaasti kasvullisesti pitkän maavartensa avulla. Itiötuotanto on hyvä ja itiöt leviävät helposti tuulen mukana – tosin kasvupaikat ovat yleensä sulkeutuneissa metsissä, joissa leviäminen on rajallista ja uusien kasvustojen vakiintuminen hyvin harvinaista (Dahlskog 1980). Suomen populaatiokoko (lehtien lukumäärä) on hyvin suuri, joskin monet eteläisimmistä esiintymistä ovat melko suppea-alaisia.

Sopeutumiskyky: Laji säilyy hyvin kasvupaikoillaan, jos elinympäristö säilyy luonnontilaisena. Hakkuut ja ojitukset aiheuttavat kasvupaikkojen kuivumista ja muun kasvillisuuden umpeenkasvua.

Suojelu ja hoito: Kaksi kolmasosaa tunnetuista, nykyisistä kasvupaikoista on suojeltuja. Monet kasvupaikat ovat metsälakikohteita. Lajin populaatioita voi elvyttää lähteikköjä ja korpia ennallistamalla ja vesitaloutta palauttamalla. Kasvupaikkojen kosteusolojen säilymistä tulee seurata.

3.16.

Idänkynsimö (*Draba cinerea*)

Levinneisyys: Idänkynsimöä tavataan Fennoskandian ja Euraasian pohjoisosissa sekä Pohjois-Amerikassa boreaalisen alueen pohjoisosissa ja arktisilla alueilla. Suomessa idänkynsimö kasvaa vain Kuusamossa.

Kasvupaikat: Suomessa idänkynsimön kasvupaikat ovat paljailla rantakallioilla tai somerikoilla. Laji on kalkinvaatija. Breenin ja Lévesquen (2006) mukaan idänkynsimö on sukkession alkuvaiheen laji, sitä tavataan Kanadassa jäätiköiden edustalla 30–60 metrin etäisyydellä paikoilla, joilla karikkeen ja sammalten määrä on vähäinen.

Lisääntyminen: Idänkynsimö on risti- tai itsepölytytteinen, pääjuurellinen, ilmeisen lyhytikäinen kasvi. Sen siementuotto on hyvä, siemenet varisevat passiivisesti emokasvien ympärille ja niiden leviämiskyky on huono. Joskus siemenet voivat kulkeutua veden mukana. Lajilla on ainakin lyhytikäinen siemenpankki (Lévesque 1998), jonka avulla se voi säilyä kasvupaikoillaan yli epäedullisten kausien. Lajilla ei ole kasvullista leviämistä, varsi haaroo tyvestä. Suomessa populaatiokoko on melko pieni, kukkivia yksilöitä on alle 1 000.

Sopeutumiskyky: Lajin lämpövaatimuksista ei ole tietoa, mutta kaikki tunnetut esiintymät ovat hyvin pohjoisessa. Ilmastomuutoksen aiheuttama muun kasvillisuuden lisääntyminen voi olla uhkana.

Suojelu ja hoito: Lähes kaikki Suomen kasvupaikat sijaitsevat Oulangan kansallispuistossa. Lajilla ei ole tällä hetkellä hoitotarvetta. Populaatioiden seuranta on tarpeen ja niiden vahvistaminen voi tulla kyseeseen.

3.17.

Tuoksualvejuuri (*Dryopteris fragrans*)

Levinneisyys: Tuoksualvejuurta kasvaa sirkumpolaarisesti etelästä temperaattiselta alueelta pohjoiseen arktiselle alueelle asti. Euroopassa se on harvinainen. Suomessa tuoksualvejuuri kasvaa vain Utsjoella. Suomea lähimmät kasvupaikat ovat Uralilla ja Grönlannissa.

Kasvupaikat: Suomen kasvupaikat ovat paljaita tai niukkakasvuisia karun kallion pahtoja tai louhikoita. Kalliolan (1937) mukaan laji on mantereinen ja esiintyy paikoilla, joiden vuotuiset lämpötilan vaihtelut ovat vähintään 25 astetta (Juslén ym. 2011). Kalliola arveli lajin esiintymän Suomessa olevan relikti jääkauden jälkeiseltä viileältä, mantereiselta kaudelta. On myös arveltu, että laji tuli Suomeen ainakin kahdesti tai sitten Suomen populaatioissa on epätavallisen paljon suvullista lisääntymistä (Juslén ym. 2011). Laji suosii hapanta kasvualustaa.

Fernandon ym. (2014) mukaan tuoksualvejuuren kasvupaikat Pohjois-Amerikassa ovat kallioiden varjoisilla alarinteillä, etenkin pahtojen alla. Pahdat suojaavat kasveja kuivumiselta ja rankkasateilta. Keskimääräinen vuotuinen ilman lämpötila Kanadan kasvupaikoilla on 3,5–7,5 °C, pH 6,0–7,7 ja kalsiumpitoisuus (Ca) 1,5–62,2 mg/kg. Venäjällä Altain alueella tuoksualvejuuri esiintyy jäätikön reunalla suurten kivien väleissä ja kivisillä rinteillä (Gureyeva & Timoshok 2016). Uusia yksilöitä syntyy etenkin pienilmastoltaan sopiviin kohtiin, minne lumi kerääntyy, isot kivet tarjoavat suojaa talvella ja keväällä, ja missä on riittävästi lumen sulamisvesien kosteutta kasvua varten.

Lisääntyminen: Tuoksualvejuuri on pitkäikäinen, tuppaina kasvava saniainen. Sen itiötuotanto on hyvä ja itiöt leviävät hyvin tuulen mukana avoimilla kasvupaikoilla. Laji kykenee myös kaukolevintään sopiville habitaateille (Bouchard ym. 2017). Lisääntyminen tapahtuu sekä kasvullisesti haarovan pystyjuurakon avulla että suvullisesti. Lajilla on itiöpankki.

Sopeutumiskyky: Tuoksualvejuurella on paljon geneettistä vaihtelua laajalla levinneisyysalueellaan sekä populaatioiden välillä että niiden sisällä (Juslén ym. 2011; Bouchard ym. 2017). Suomen kannasta osa muistuttaa geneettisesti Mongoliasta kerättyjä näytteitä, osa Itä-Venäjän näytteitä. Bouchardin ym. (2017) mukaan Yhdysvaltojen populaatioissa on yllättävän vähän geneettistä vaihtelua todennäköisesti vallitsevan itsesiitoksen vuoksi. Kasvi lienee kaukolevinnyt aikoinaan Yhdysvaltoihin Kanadasta ja erilaistunut sen jälkeen. Bouchardin ym. (2017) mukaan lämpötila sinänsä ei ole lajin esiintymistä rajoittava tekijä, mutta kynnyskysymykseksi voi muodostua lajin kyky pidättää kosteutta, jos kesät muuttuvat entistä kuivemmiksi. Saetersdalin ym. (1998) mukaan tuoksualvejuuri on yksi niistä kymmenestä Fennoskandian lajista, jotka ovat vaarassa hävitä ilmastomuutoksen aiheuttaman lämpenemisen ja kasvupaikkojen kuivumisen seurauksena. Niskasen (2018; 2019) mukaan tuoksualvejuuren säilyminen Suomessa muuttuvassa ilmastossa on täysin kiinni sen säilymisestä ainoalla kasvupaikallaan, sillä lajilla ei ole mahdollisuuksia levitä pohjoisemmaksi.

Suojelu ja hoito: Lähes kaikki Suomen ainoan esiintymän kasvustot sijaitsevat Kevon kansallispuistossa. Populaatio vaikuttaa tällä hetkellä vakaalta eikä hoitotoimia tarvita. Tuppaita on lähes 3 000, ja uudistumista näyttää tapahtuvan. Voimakkaan geneettisen erilaistumisen vuoksi kaikki tuoksualvejuuren populaatiot on suojeltava geneettisen vaihtelun säilyttämiseksi.

3.18.

Teodorinpihlaja (*Hedlundia teodori*)

Levinneisyys: Teodorinpihlajan ilmoitettiin aiemmin kasvavan Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa Ahvenanmaalla sekä Latviassa. Lajin taksonominen status on kuitenkin epäselvä ja ilmeisesti nimilajia *Hedlundia teodori* kasvaa vain Ruotsissa Gotlannissa (Levin 2013). Ei ole varmuutta, esiintyykö tätä taksonia Suomessa lainkaan. Senni-

kovin ja Kurton (2017) mukaan Suomen ja Latvian puut kuuluvat lajiin kaunopihlaja (*Sorbus meinichii* s.l.) tai ne ovat muita risteymiä, joiden asema on epäselvä.

Lisääntyminen: Teodorinpihlaja on pitkäikäinen puu tai pensas. Se on apomikti, jonka siementuotto on heikko. Siemeniä levittävät linnut ja nisäkkäät. Laji leviää kasvullisesti runkovesoista. Siemenpankki on niukka. Suomessa tunnetaan noin 20 puuta Ahvenanmaalla, ne eivät kuitenkaan ole tätä varsinaista nimilajia, vaikkakin ovat todennäköisesti erilaistuneita.

Suojelu- ja hoito: Suurin osa Suomessa tiedetyistä puista on Natura 2000 -kohteita. Paikoilla ei tarvita hoitotoimia. Lajin taksonomiassa on selvitettävää.

3.19.

Nelilehtivesikuusi (*Hippuris tetraphylla*)

Levinneisyys: Nelilehtivesikuusen levinneisyys on sirkumpolaarinen. Aasian itä-rannikolla sekä Pohjois-Amerikan itä- ja länsirannikoilla lajin levinneisyysalue ulottuu Suomea etelämmäs. Euroopan esiintymät ovat boreaalisella alueella Suomessa, Ruotsissa ja Luoteis-Venäjällä. Suomessa lajia tavataan Perämerellä ja Selkämerellä, Suomenlahden esiintymät ovat hävinneet umpeenkasvun takia. Laji risteytyy lamparevesikuusen (*H. vulgaris*) kanssa. Risteymäsyntyinen rannikkovesikuusi (*H. lanceolata*) valtaa helposti nelilehtivesikuusen kasvupaikat rannikolla. Nelilehtivesikuusen elinvoimaisimmat esiintymät ovat saarten ympäristössä maankohoamisen myötä syntyneillä sukkessiomaille.

Kasvupaikat: Nelilehtivesikuusi on maankohoamisrannikon pioneirilaji. Se tarvitsee vakiintuakseen paljaan kasvittoman hieta- tai liejupohjan. Martinin ym. (2009) mukaan maankohoamisrannat ja jokisuistot, joihin kerääntyy kasvitonta lietettä, tarjoavat hyviä kasvupaikkoja heikosti suolaisuutta kestäville vesikuusille. Nelilehtivesikuusi sietää suolaa paremmin kuin vain mannerrannoilla kasvava lamparevesikuusi. Voimakkaan juuristonsa avulla vesikuuset muodostavat nopeasti laajoja kasvustoja, jotka sitovat lietettä ja nopeuttavat sukkessiokehitystä.

Lisääntyminen: Nelilehtivesikuusi on lyhytikäinen monivuotinen, juurakkonsa turvin laajoina kasvustoina kasvava ruohovartinen vesikasvi. Se ristipölytyy tuulen avulla. Siementuotto on kuitenkin heikko ja siemenpankki todennäköisesti lyhytikäinen. Siemenet ja versot leviävät kohtalaisen hyvin veden mukana. Kasvi leviää etupäässä kasvullisesti tehokkaasti pitkän suikertavan ja haarovan juurakkonsa avulla ja säilyy hyvin kasvupaikallaan, jos uutta elinympäristöä syntyy maankohoamisen seurauksena. Populaatiokoko (versomäärä) on hyvin suuri, mutta se on vain muutaman ison esiintymän varassa.

Sopeutumiskyky: Ilmastomuutoksen aiheuttama lämpeneminen, sateiden lisääntyminen, jääeroosion ja roudan puuttuminen sekä suolapitoisuuden ja hydrologian muutokset voimistavat lajin elinympäristöjen sukkessiota ja umpeenkasvua. Rannikot ovat myös alttiita voimistuville myrskyille ja aallokon vaikutuksille.

Suojelu ja hoito: Laajimmat kasvustot, kuten Perämeren pohjukassa Hailuodossa ovat suojeltuja. Yksittäisiä jäännösesiintymiä on Oulun seudulla laidunnetuilla rantaniityillä, mutta ne tulevat häviämään risteytymisen vuoksi. Lajin säilyminen on riippuvainen maankohoamisen seurauksena paljastuvan, lajille sopivan lietteisen

kasvualustan saatavuudesta Perämerellä. Näitä olosuhteita tukee jääeroosio, jonka säilyminen on uhattuna ilmastonmuutoksen seurauksena.

3.20.

Kiiltovalkku (*Liparis loeselii*)

Levinneisyys: Kiiltovalkkua tavataan laajalla alueella Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Suomessa kiiltovalkku kasvaa levinneisyytensä pohjoisrajalla vain Ahvenanmaalla.

Kasvupaikat: Kiiltovalkku kasvaa paljaalla tai niukkakasvuisella märällä letolla. Se on kalkinvaatija. Suomessa on ollut Ahvenanmaalla muutama kasvupaikka, joista enää yksi on jäljellä, muut kasvupaikat on kuivattu tai ne ovat kuivuneet ympäröivien ojitusten vuoksi. Lappeenrannassa oli kaukolevintänä tullut esiintymä kalkkitehtaalla, mutta se on tuhoutunut. Kiiltovalkku kasvaa kaikkialla vain hyvin märillä soilla. Kasvien kasvua rajoittaa puuston lisääntyminen, joka aiheuttaa kasvupaikkojen kuivumista ja varjostusta (Bednorz 2003).

Lisääntyminen: Kiiltovalkku on varsimukulallinen kämmekkä. Yksilöt ovat enimmäkseen lyhytikäisiä ja uudistuminen vaatii kasvupaikan avoimutta, jota häiriöt edistävät. Se on risti- tai joskus itsepölytteinen. Belogradova ym. (2012) mukaan itsepölytys on lajilla tavallista ja populaatioiden sisäinen geneettinen vaihtelu on kohdalaista. Pienet siemenet leviävät hyvin tuulen mukana. Lajille sopivia kalkkialueella sijaitsevia lettokasvupaikkoja on maan eteläosissa kuitenkin hyvin vähän. Taimien vakiintumista voi rajoittaa myös sopivan sienisymbiontin löytyminen. Maaperän siemenpankista ei ole tietoja. Paikallisesti kiiltovalkku leviää kasvullisesti haarovien varsimukuloiden avulla.

Sopeutumiskyky: Suomessa lajin säilymistä rajoittaa tiukkojen kasvupaikkavaatimusten lisäksi hyvin pieni populaatiokoko, sillä vain muutama yksilö on enää jäljellä. Kiiltovalkku ei kestä kasvupaikkojensa kuivumista, umpeenkasvua eikä varjostusta (mm. Wheeler ym. 1998; Bednorz 2003). Ignataviciuksen ja Toleikien (2017) mukaan kiiltovalkku ei tule kuitenkaan kovin paljon kärsimään ilmaston lämpenemisestä Liettuassa, elleivät kasvupaikat kuivu. Berryn ym. (2007) mukaan kiiltovalkku tulee menettämään Euroopassa 90–100 prosenttia lajille soveltuvasta ilmastovyöhykkeestä vuoteen 2080 mennessä. Myös Essl ym. (2012) ennustavat etenkin märkien soiden kasvien olevan vaarassa hävitä Euroopasta.

Suojelu ja hoito: Lajin ainoa nykyesiintymä on suojeltu. Elinympäristön ennallistaminen ja populaation vahvistaminen olisivat tarpeen.

3.21.

Laaksoarho (*Moehringia lateriflora*)

Levinneisyys: Laaksoarholla on laaja levinneisyysalue pohjoisella pallonpuoliskolla temperaattiselta alueelta arktiselle alueelle Euroopassa, Aasiassa Japaniin asti ja Pohjois-Amerikassa. Aasiassa lajia tavataan myös vuoristoissa. Suomea lähimmät esiintymät ovat Karjalan kannaksella ja Kuolan niemimaalla sekä Pohjois-Norjassa. Suomessa on Karjalan esiintymäalueeseen liittyvät erillisesiintymät Kaakkois-Suomessa, varsinainen levinneisyysalue on meillä Lapin suurten jokien varsilla. Useimmat levinneisyysalueen joet on valjastettu vesivoiman tarpeisiin, osa kasvupaikoista

on jäänyt voimalaitosten altainen alle, ja aiemmin yhtenäisempi levinneisyys on nykyisin aukkoista.

Kasvupaikat: Laaksoarhon kasvupaikat Suomessa ovat niukkakasvuisilla hietamaila suurten jokien varsilla tulvavyöhykkeellä ja välittömästi sen yläpuolella rantapensaikoissa ja -metsissä, usein lehtipuiden alla kasvittomissa aukkopaikoissa. Laji lienee hyötynyt tulvaniittyjen niitosta ja laidunnuksesta ja osa nykyisistäkin kasvupaikoista on niityillä. Joitakin kasvupaikkoja myös laidunnetaan.

Japanissa laaksoarho kasvaa vuorten ja mäkien aurinkoisilla rinteillä laajoina mattomaisina kasvustoina (Sugawara 1993). Alaskassa laaksoarho kasvaa suurten jokien rantametsissä, mutta puuttuu kokonaan avoimelta stepiltä. Alaskassa tehdyissä kokeissa laaksoarho saatiin menestymään myös avoimella stepillä lisätyn kosteuden avulla. Avoimella paikalla kasvit jäivät pieniksi ja kitukasvuiksi kuivuuden ja muiden lajien kilpailun vuoksi. Siten laji on enemmän riippuvainen kasvupaikan kosteudesta ja maapohjan aukkoisuudesta kuin valoisuudesta (Wesser & Armbruster 1991).

Lisääntyminen: Laaksoarho on lyhytikäinen monivuotinen, maanmyötäisesti rön-syilevä kasvi. Se on hyönteis-, risti- tai itsepölytteinen. Kukat ovat yleisesti emikukkia tai hermafrodiitteja, myös hedekukkia on havaittu (Sugawara 1993). Lajin siementuotto vaihtelee suuresti ja leviämiskyky on heikko: siemenet varisevat passiivisesti kasvupaikalle tai leviävät veden mukana. Siemenissä on pieni ravintorikas lisäke, elaiosomi, joka houkuttelee muurahaisia. Kasvi leviää siten myös muurahaisten avulla. Muurahaislevitteisyys hyödyttää kasvia myös muulla tavalla: elaiosomin poistamisen on todettu lisäävän arhojen itävyyttä (Casazza ym. 2008). Kasvullinen leviäminen on tehokasta pitkien maarönsyjen avulla. Siemenpankki on todennäköisesti pitkäikäinen. Suomen populaatiokoko (kohenevien versojen määrä) on hyvin suuri.

Sopeutumiskyky: Laji säilyy hyvin kasvupaikoillaan, myös melko tiheässä metsässä. Kun satunnaiset tulvat ulottuvat kasvupaikalle ja poistavat hietaa peittävän karikkeen, kasvustot elpyvät nopeasti ja kukkivat ajoittain hyvin runsaasti. Sateiden ja tulvien lisääntyminen voi hyödyttää kasvia, ellei rantojen pengerrys, rakentaminen ja vesivoiman käyttöönotto lisäännä. Kasvupaikkojen kokonaan umpeutuessa populaatiokoko aluksi supistuu ja myöhemmin laji vähitellen häviää. Berry ym. (2007) arvioivat mallinnukseen perustuen laaksoarholle soveltuvimman ilmastovyöhykkeen katoavan Euroopasta vuoteen 2080 mennessä.

Suojelu ja hoito: Vaikka lajin suojeluaste on matala, ovat elinvoimaisimmat esiintymät suojeltuja. Niitto, pensaikkojen ja rantametsien harvennus sekä ajoittainen laidunnus edistävät kukintaa ja lajin levittäytymistä paikallisesti, jos kasvupaikan kosteusolot ovat muutoin edulliset.

3.22.

Notkeanäkinruoho (*Najas flexilis*)

Levinneisyys: Notkeanäkinruoholla on laaja levinneisyysalue Pohjois-Amerikassa. Laji on lämpimän ilmastoin indikaattori (Gałka ym. 2012). Se valtasi Euroopan järvet jääkauden jälkeen holoseenin lämpökaudella noin 8 000 vuotta ennen ajanlaskun alkua, jolloin kasvitonta kasvualustaa oli järvissä runsaasti saatavilla (Gałka & Apolinarcska 2014). Lämpökauden jälkeisen järvien sukkession myötä se jäi reliktiksi joihinkin järviin Euroopassa ja on nykyisin hyvin harvinainen. Siemeniä löytyy edelleen runsaasti makrofossiileina eri puolilta Eurooppaa. Suomessa notkeanäkinruohoa kasvaa hyvin harvinaisena ja niukkana muutamassa Etelä- ja Itä-Suomen järvessä.

Kasvupaikat: Lajin kasvupaikat Suomessa ovat paljailla tai niukkakasvuisilla silttipohjilla lähdevaikutteisissa, happamuudeltaan neutraaleissa, kirkasvetisissä mutta luontaisesti runsasravinteisissa järvissä. Keski-Euroopassa notkeanäkinruohon kasvujärvet ovat mesotrofisia tai eutrofisia (mm. Pall 2011). Osa notkeanäkinruohon Suomen kasvujärvistä on rehevöityneitä, kasvustoja on hävinnyt, ja populaatioko-ko on hyvin pieni (yhteensä noin 100–200 yksilöä) (Issakainen ym. 2011). Kasvi on herkkä muiden lajien kilpailulle. Notkeanäkinruoho on usein vesien ensimmäisiä kolonisoijia, joka hyötyy pohjan häiriöistä. Esimerkiksi lähdevaikutus tuottaa muusta kasvillisuudesta avoimia laikkuja järvien pohjalle.

Haasin ym. (1998) mukaan notkeanäkinruoho suosii lämpöä ja kasvujärvien kesälämpötilat ovat korkeita. Wingfieldin ym. (2004; Gałka ym. 2012) mukaan notkeanäkinruohon häviäminen monista Euroopan järvistä johtui muun muassa havupuiden lisääntymisen aiheuttamasta järvien happamoitumisesta, mikä heikentää notkeanäkinruohon siementuottoa. Muiden vesikasvien, kuten kelluslehtisten lisääntyminen on johtanut valon määrän merkittävään vähenemiseen pohjalla. Notkeanäkinruohon taantuminen Euroopassa ajoittuu samaan aikaan, jolloin oligotrofisten vesien indikaattori tummalahnanruoho (*Isoëtes lacustris*) lisääntyi (Gałka ym. 2012).

Lisääntyminen: Notkeanäkinruoho on yksivuotinen vesikasvi, jonka pölytys tapahtuu veden alla. Yksivuotisuudesta johtuen vuotuiset erot kasvien esiintymisessä ovat suuret, ja leviäminen veden ja vesilintujen mukana on heikkoa. Siemenet itävät parhaiten valossa (Wingfield ym. 2004). Itämisen minimilämpötila on 16–19 astetta, mikä saavutetaan matalissa vesissä tai aurinkoisilla paikoilla (Haas ym. 1998; Wingfield ym. 2004). Pimeässä ja hapettomissa olosuhteissa siemenet itävät jo noin 11 asteessa. Viileät kesät tai voimakkaiden sateiden aiheuttama vedenpinnan nousu viivästyttää itämistä. Pohjois-Amerikassa kahden viikon viivytyksen optimaalisessa itämisajassa, mikä on kesäkuun lopulla, on todettu heikentävän siementuottoa (Haas ym. 1998). Optimaalisen lämpimänä kesänä, jolloin sademäärä on vähäinen, kasvit tuottavat runsaasti siemeniä hyvin pitkäikäiseen siemenpankkiin.

Sopeutumiskyky: Ilmaston lämmetessä ilmaversoisten kasvien lisääntyminen etenkin pohjoisessa on voimakasta, mutta runsastuminen on selvää jo nyt myös etelässä (Alahuhta ym. 2011). Tämä on selkeä uhka näkinruohoille, jotka ovat herkkiä rehevöitymiselle ja happamoitumiselle (Wingfield ym. 2004). Notkeanäkinruoho käyttää yhteyttämiseen hiilidioksidia (CO_2) eikä pysty käyttämään bikarbonaattia (HCO_3^-). Tämä heikentää fotosynteesikapasiteettia kovissa vesissä ja rajoittaa siten lajin leviämistä. Notkeanäkinruohon esiintymisen yläraja on pH:ssa 9, missä hiilidioksidia ei enää ole lainkaan. Berryn ym. (2007) mukaan notkeanäkinruoho tulee ilmastonmuutoksen vuoksi menettämään valtaosan Euroopan esiintymisalueestaan tällä vuosisadalla.

Suojelu- ja hoito: Noin 80 prosenttia Suomen populaatiosta on suojeltu. Suojelu ei kuitenkaan yksin auta lajia, sillä runsasravinteisten järvien samentuminen ja umpeenkasvu on kiihtynyt. Koko valuma-alueella tehtävät vesiensuojelutoimet ovat tarpeen (Issakainen ym. 2011).

3.23.

Hentonäkinruoho (*Najas tenuissima*)

Levinneisyys: Hentonäkinruoho on Pohjois-Euroopalle kotoperäinen kasvi. Suomessa on arviolta 60 prosenttia koko lajin kannasta (Vargot ym. 2016). Suomen nykyesiintymät ovat maan etelä- ja itäosissa noin 20 järvessä ja kahdessa Suomenlahden joki-

suistossa. Hentonäkinruoho on subboreaalisen kauden relikti ja sen levinneisyysalue oli huomattavasti nykyistä laajempi varhaisella holoseeni- ja pleistoseenikaudella (Vargot ym. 2016). Makrofossiileja on löydetty lähes koko Suomesta, esimerkiksi Keski-Lapista Soklin alueelta. Siellä kesälämpötilat olivat noin 100 000 vuotta sitten noin 16 astetta ja tehollinen lämpösumma 1 000, kun nykyinen kesälämpötila Soklissa on 13 astetta ja lämpösumma 650 (Väliranta ym. 2009). Nykyesiintymät sijaitsevat noin 150–580 kilometriä Soklia etelämpänä.

Kasvupaikat: Ominaisuuksiltaan ja ekologiaaltaan hentonäkinruoho muistuttaa notkeanäkinruohoa. Kasvupaikat Suomessa ovat paljailla tai niukkakasvuisilla siltti-pohjilla lähdevaikutteisissa, happamuudeltaan neutraaleissa, kirkasvetisissä, mutta luontaisesti runsasravinteisissa järvissä. Monet kasvupaikat ovat yhteisiä notkeanäkinruohon kanssa (Issakainen ym. 2011). Näkinruohoille soveltuvia järviä on vain vähän levinneisyysalueella. Suotuisina lämpiminä kesinä voi olla massakasvustoja. Sääoloiltaan sopivia vuosia on vain silloin tällöin ja tämän vuoksi laji ei ole havaittavissa vuosittain (Vargot ym. 2016). Kasvi kasvaa mieluiten matalahkossa (0,3–0,5 m) vedessä, jossa lämpötila on suotuisin, mutta se on herkkä veden samentumiselle ja muiden lajien kilpailulle. Mitä enemmän kasvupaikalla on muuta lajistoa, sitä enemmän on pohjan varjostusta ja paikalle kertyy lietettä, mikä estää näkinruohojen kasvun. Lähdevaikutus tuottaa muusta kasvillisuudesta avoimia laikkuja pohjalle.

Lisääntyminen: Hentonäkinruoho on yksivuotinen vesikasvi, joka pölytytty veden alla. Siementuotto on suotuisina vuosina hyvä. Siemenet kuitenkin leviävät heikosti veden tai vesilintujen mukana. Suuri osa siemenistä jää pohjalle siemenpankkiin, jossa ne voivat säilyä itämiskykyisinä jopa 50 vuotta (Vargot ym. 2016). Yksilömäärä vaihtelee Suomessa suuresti vuosittain, arvio nykyisestä populaatiokoosta on noin 4 000 – 10 000 yksilöä.

Sopeutumiskyky: Taantumisen syynä on pidetty muun vesikasvillisuuden voimakasta lisääntymistä, mitä näkinruohot heikkoina kilpailijoina eivät kestä. Lämpötilan nousu on lajille eduksi, mutta veden samentuminen sekä muun ranta- ja vesikasvillisuuden lisääntyminen ovat suuri uhka.

Suojelu ja hoito: Noin kolmasosa Suomen nykyisistä kasvupaikoista on suojeltuja, mutta suojelu ei estä kasvujärvien rehevöitymistä ja umpeenkasvua. Koko valuma-alueella tehtävät vesiensuojelutoimet ovat tarpeen (Issakainen ym. 2011).

3.24.

Lietetatar (*Persicaria foliosa*)

Levinneisyys: Lietetattarta tavataan Fennoskandian ja Baltian maiden lisäksi ainakin Venäjällä ja Itä-Aasiassa Koreassa ja Japanissa. Lajin levinneisyys on heikosti tunnettu. Suomessa lietetattarella on kaksiosainen levinneisyys: sisämaan esiintymät ovat pääasiassa jokien ja järvien laidun- ja niittyrannoilla, Perämeren pohjukassa lajilla on vahva kanta isojen jokien suistoissa.

Kasvupaikat: Lietetattaren kasvupaikat ovat paljailla tai niukkakasvuisilla jokien ja järvien rantojen hietta- tai liejupohjilla. Laji on yleisesti jokisuistojen ja paljastuneen rantamaan pioneerikasvi. Laji hyötyy häiriöistä, kuten karjan tallauksesta ja jääeroosion vaikutuksesta. Kasvupaikat ovat tulvivia ainakin johonkin aikaan vuodesta (Stridh 2008). Oulujokisuistossa lajin kasvusyvyyden on kuivalta maalta 40 senttimetrin syvyyteen, pohjan laatu yleisimmin humusta, mutaa tai mutaa muunlaisen pohjan

päällä (Lahti 2009). Oulujoella kasvustot ovat etupäässä suojaissa jokisuiston uomissa. Lahden (2009) mukaan lajille soveltuvat potentiaaliset kasvupaikat on helppo ennustaa rannan suojaisuuden ja syvyyden sekä pohjan laadun perusteella.

Lisääntyminen: Lietetatar on yksivuotinen tai lyhytikäinen monivuotinen, upoksissa tai matalilla rannoilla vesirajassa kasvava vesikasvi. Laji on risti- tai itsepölytteinen. Upoksissa olevat kasvit pölyttyvät vedessä. Siementuotto vaihtelee suuresti, mutta voi hyvinä vuosina olla kohtalainen. Siemenet leviävät veden ja vesilintujen mukana. Siemenpankki on todennäköisesti pitkäikäinen. Siemenet itävät vasta kasvupaikan jäädessä tulvan jälkeen kuiville. Tämän vuoksi laji on havaittavissa vain vedenkorkeuden vaihteluiden mukaan sopivina vuosina.

Sopeutumiskyky: Lietetatar suosii lämpöä (mm. Alahuhta ym. 2018). Heikkona kilpailijana ja avointen paikkojen pioneerina laji ei kestä umpeenkasvua. Monet Etelä-Suomen jokisuistojen esiintymistä ovat jo hävinneet umpeenkasvun vuoksi. Häiriöalttiilla paikoilla kasvavan hanhentattaren (*P. maculosa*) on todettu Pohjois-Amerikassa olevan hyvin sopeutunut sekä geneettisesti että morfologisesti erilaisiin kosteus- ja kuivuusvaihteluihin (Heschel ym. 2004). Sitä tavataan myös hyvin erilaisista habitaateista varjoisista avoimiin, rehevistä ravinteisuudeltaan köyhiin ja sekä kuivissa että tulvivissa ympäristöissä. On otaksuttavaa, että lietetattarellakin lietteinen, lähes kasviton pohjamuta ja vuodenaikaiset vedenkorkeuden vaihtelut ovat oleellisia tekijöitä kasvupaikoilla eivätkä muut tekijät ole niin tärkeitä.

Suojelu ja hoito: Lähes puolet lietetattaren esiintymistä on suojeltuja, elinvoimaisimmat populaatiot ovat Perämeren pohjukan jokisuiden Natura 2000 -alueilla. Sisämaan kasvustot ovat suuresti vähentyneet. Ne ovat enimmäkseen pieniä, uhanalaisia ja monet jatkuvasta hoidosta, kuten laidunnuksesta riippuvaisia.

3.25.

Pikkulehdokki (*Platanthera oligantha*)

Levinneisyys: Pikkulehdokki on pohjoinen kämmekkä, jota tavataan hyvin harvinaisena Euraasian arktisilla alueilla ja vuoristoissa, muun muassa Venäjällä. Ruotsissa ja Norjassa tunnetaan joitakin esiintymiä, joiden merkitys lajin turvaamisessa globaalisti on huomattava. Suomesta laji on löydetty kolmena peräkkäisenä vuonna Enontekiön Mallalta. Luontodirektiivin raportoinnissa kausilta 2007–2012 ja 2013–2018 laji arvioitiin meillä tilapäiseksi.

Kasvupaikat: Pikkulehdokin kasvupaikka Mallalla on kalkkipitoinen tunturikangas. Lajin kasvupaikkavaatimuksia ei täysin tunneta, mutta todennäköisesti sillä on sienijuuriyhteys kuten muillakin kämmekoilla.

Lisääntyminen: Pikkulehdokki on ristipölytteinen kämmekkä. Siementuotto on hyvä ja pienet siemenet leviävät hyvin tuulen mukana pitkiäkin matkoja. Suomessa tavattu yksilö voi olla peräisin Skandinaviasta tulleesta kaukolevinnästä, sillä lajia ei ole koskaan aiemmin tavattu Suomesta, vaikka Mallan lajisto tunnetaan kohtuullisen hyvin. Yksilö nähtiin kolmena peräkkäisenä vuonna 2012–2014, sen jälkeen sitä ei ole nähty. Yksilö voi vielä piileskellä maan alla tai se voi olla hävinnyt.

Sopeutumiskyky: Lajin sopeutumiskyvystä ei ole tietoja. Todennäköisesti se kuitenkin vaatii hyvin kylmän kasvupaikan ja on vaarassa hävitä ilmaston lämmetessä.

Suojelu ja hoito: Tunnettu kasvupaikka Suomessa on suojeltu ja se on aidattu porojen laidunnukselta. Lajin vakiintumista Suomeen tulee seurata.

3.26.

Ruijannuokkuesikko (*Primula nutans* subsp. *finmarchica*)

Levinneisyys: Ruijannesikkoa (*Primula nutans*) tavataan arktisten merien rannoilla Euroopassa, Aasiassa ja Amerikassa. Esikoiden suvussa lajiutuminen on tavallista ja nopeaa (Kelso 1992). Alalaji ruijannuokkuesikko (subsp. *finmarchica*) kasvaa Fennoskandiassa ja Vienanmeren rannoilla, ja sen variaatio (var.) *jokealae* on Perämerelle endeeminen. Suomessa ruijannuokkuesikkoa kasvaa Perämeren rannalla Keski-Pohjanmaalta Tornioon ja edelleen Ruotsin puolelle asti.

Kasvupaikat: Ruijannuokkuesikko kasvaa ruusukeryhminä paljailla tai niukka-kasvuisilla rantaniityillä. Se on sukkession alkuvaiheen laji, joka kärsii muun kasvillisuuden varjostuksesta. Saetersdalin ja Birksin (1997) mukaan lumipeite ei ole lajille välttämätön eivätkä habitaattivaatimukset ole muutoinkaan kovin rajoittuneet. Esiintymistä rajoittavat kesän maksimilämpötila ja kosteusolot, sillä laji ei kestä liian märkää kasvualustaa. Norjassa heinäkuun optimi on noin 10 astetta (Saetersdal & Birks 1997). Kasvit suosivat rannan mättäitä, vaikka niiden päällä kesälämpötila onkin korkeampi kuin mättäiden väleissä. Mättäiden väleissä vuorokautiset lämpötilaerot ovat pienemmät, mutta märkyyttä usein enemmän kuin mättäillä ja olot siten epäedullisemmat, jolloin resursseja kuluu enemmän kukintaan (Shen ym. 2006).

Lisääntyminen: Ruijannuokkuesikko on ruusukkeellinen, lyhytikäisesti monivuotinen merenrantaniittyjen kasvi. Sillä on kaksi erilaista kukkatyyppiä, joita molempia on oltava populaatiossa sopivassa suhteessa. Emiöiden erilaisvartaloisuus (heterostylia) estää itsepölytyksen. Kukinta vaihtelee suuresti vuosittain ja paikoittain. Kukkivia on yleensä 7–25 prosenttia ruusukkeista. Kukkia pölyttävät perhoset ja kimalaiset voivat lentää pitkiäkin matkoja. Siementuotto on kohtalainen. Siemenet varisevat passiivisesti emokasvien lähelle, mutta niitä kulkeutuu myös kellumalla veden mukana rantojen tulviessa. Siemenpankki on todennäköisesti pysyvä, mutta lyhytikäinen. Paikallisesti kasvi voi levittäytyä lyhyen haarovan pystyjuurakon avulla muodostaen tyttäruusukkeita. Ruusukkeiden kokonaismäärä Suomessa on hyvin suuri.

Sopeutumiskyky: Populaatioiden pienentyessä kukkatyyppien suhteet voivat vääristyä ja mahdollisuudet suvulliseen lisääntymiseen heikkenevät. Laji on siten herkkä elinympäristön pirstoutumiselle. Laji on hyvin sopeutunut erilaisiin mikrohabitaattien kuivuus- ja kosteus- sekä lämpötilaloihin (Shen ym. 2006). Se on kuitenkin herkkä kärsimään muiden lajien varjostuksesta, jolloin kukinta jää vähäiseksi ja lopulta ruusukkeetkin häviävät (Rautiainen ym. 2007). Mannerrantojen pienet kasvustot ovat liettymisen ja umpeenkasvun vuoksi häviämässä ilman hoitoa, ja esiintyminen on nykyään pirstoutuneempaa kuin muutama vuosikymmen sitten (Kreivi 2009). Saarissa kivikkoisilla rannoilla olevat populaatiot ovat laajoja ja monet niistä pysyvät elinvoimaisina myös ilman hoitoa.

Ilmastomuutoksen aiheuttama kesien lämpeneminen ja jääeroosion väheneminen tulevat uhkaamaan ruijannuokkuesikon esiintymistä Suomessa (Hällfors ym. 2016). Myös tulvien ja myrskyjen sekä kasvavien jokivirtaamien tuoman lietteen lisääntymisellä voi olla haitallisia vaikutuksia. Jos merenpinnan nousu kompensoi maankohoamisen vaikutukset, uutta kasvitonta kasvualaa ei enää paljastu riittävästi

Perämeren pohjukassa. Lumettomuus ei sinänsä ole uhka, mutta se voi lisätä muiden lajien kilpailua.

Suojelu ja hoito: Yli kolmannes Suomen esiintymistä on suojeltuja. Laajoja rantaniittyjä hoidetaan laiduntamalla, niittämällä ja pensaikkoa raivaamalla. Lajin biologiaa ja hoitotoimien vaikutuksia on tutkittu Oulun yliopistossa. Muun kasvillisuuden poiston on todettu lisäävän ruijannuokkuesikon ruusukkeiden, kukkivien yksilöiden ja taimien määrää (Rautiainen 2006, Rautiainen ym. 2007). Yksilömäärän kasvu johtui sekä suvullisesta lisääntymisestä että kasvullisesta leviämisestä. Kukinta ja taimivaihe ovat herkkiä valolle ja huono menestys varjossa johtuu muiden kasvien varjostuksesta (Rautiainen 2006). Hoidon seurauksena myös karikkeen määrä kasvupaikoilla väheni, mikä edisti omalta osaltaan taimien ja ruusukkeiden syntyä. Lajin yksilöitä on kasvatuksessa Oulun yliopiston kasvitieteellisessä puutarhassa, missä ne menestyvät hyvin.

3.27.

Rönsysorsimo (*Puccinellia phryganodes*)

Levinneisyys: Rönsysorsimoa kasvaa arktisten merien rannoilla koko pohjoisella pallonpuoliskolla. EU:n ainoat esiintymät ovat Suomessa, Perämeren pohjukassa Hailuodossa. Perämeren rönsysorsimo on Jäämeren populaatiosta maantieteellisesti ja geneettisesti erilaistunut nykyistä viileämmän ilmastokauden relikti, joka tulee luokitella omaksi evolutiivisesti merkitseväksi yksikökseen (Kvist ym. 2015). Hailuodon rönsysorsimoesiintymä on siis vieläkin arvokkaampi kuin aikaisemmin on arvioitu.

Kasvupaikat: Rönsysorsimo on maankohoamisrannikon pioneirilaji. Sen kasvupaikat Hailuodossa ovat paljaalla hietaisella tai liejuisella suolamaalla. Kasvupaikkoja oli aiemmin myös mannerrantojen suolamailla, mutta ne ovat hävinneet umpeenkasvun vuoksi. Kanadassa rönsysorsimo on yksi arktisten merenrantojen suolamaiden valtalajeista (Jefferies ym. 2006). Alaskassa rönsysorsimo on ainoa laji, joka kasvaa alimpana meren rannassa kasvittomalla alustalla paikoilla, joilla on korkea johtokyky ja suuret suolapitoisuudet, ja joilla aallot pyyhkivät yli kasvustojen säännöllisesti (Funk ym. 2004). Vähemmän suolapitoisia ja ylempänä olevia ranta-alueita valloittavat muut kasvilajit. Handan ja Jefferiesin (2000) kokeiden mukaan rönsysorsimoiden kasvu edellyttää riittävää kosteutta, jota on tarpeeksi vesirajassa. Orgaaninen liete edistää rönsysorsimoiden kasvua, sillä se ylläpitää kasvupaikan kosteusoloja.

Hanhelaiduntavat yleisesti rönsysorsimon kasvupaikoilla. Ne syövät sorsimon versoja ja juurakoita, jotka ovat korkean typpipitoisuutensa vuoksi haluttua ruokaa. Laidunnuksesta on rönsysorsimolle silti hyötyä, sillä lintujen ulosteet lisäävät muuten paljaan rannan ravinteisuutta, mikä edistää sorsimon kasvua. Tutkimusten mukaan ravinteiden niukkuus on monen arktisen, etenkin matalajuurisen lajin kasvua rajoittava tekijä (Cooper ym. 2006). Ulosteiden tyyppi ei ole ainoa rönsysorsimon kasvua edistävä tekijä, sillä ulosteet muuttavat maaperän mikrobistoa sorsimoille edulliseksi (Hik ym. 1991). Kasvukauden alussa tapahtuva laidunnus ei haittaa sorsimoita. Laidunnus kasvukauden lopulla vähentää rönsysorsimoiden määrää seuraavana vuonna, koska kasvit keräävät ravinteita nimenomaan kasvukauden lopussa selvitäkseen talven yli (Hik ym. 1991).

Suomessa rönsysorsimon kasvustoja laiduntavat merihanhet (*Anser anser*) eikä niistä ole ollut ainakaan isompaa vahinkoa (Markkola 2016b). Hanhien liiallinen laidunnus voi kuitenkin olla rönsysorsimolle epäedullista. Kanadassa on todettu lumihanhien (*Anser caerulescens*) liiallisen laidunnuksen johtavan kasvillisuuden katoamiseen ja maaperän erodoitumiseen laajoilta alueilta (Jefferies ym. 2006). Sa-

mankaltaista sorsimokasvustojen nopeaa katoamista on tavattu aiemmin muuallakin Kanadan rannikolla ja kasvustojen palautuminen on vienyt vuosikymmeniä.

Lisääntyminen: Rönsysorsimo on kasvullisesti uudistuva, pitkäikäinen monivuotinen, matalakasvuinen heinä. Rönsysorsimo kukkii harvoin eikä sen siitepöly ole yleensä kelvollista. Suvullista lisääntymistä ei siten tapahtune Fennoskandiassa ainaakaan yleisesti. Kanadassa on kuitenkin havaittu suurta geneettistä vaihtelua populaatioissa ja niiden välillä, ja sen arvellaan johtuvan ajoittain tapahtuvasta suvullisesta lisääntymisestä (Kvist ym. 2015). Lajin leviämiskyky on heikko, versonpalat leviävät veden ja vesilintujen mukana. Rönsysorsimo levittäytyy kasvullisesti tehokkaasti runsaiden pintarönsyjen avulla, jotka paloittuvat helposti. Suomen kasvustojen laajuus on vaihdellut suuresti, muutamasta aarista useisiin hehtaareihin, viimeisimpien tietojen mukaan lajin versojen yhteisala on noin kolme neliömetriä.

Sopeutumiskyky: Lajilla on erittäin hyvä sopeutumiskyky erilaisiin stressitekijöihin, kuten talvehtimiseen jään sisällä tai hapettomissa oloissa (Martini ym. 2009). Suomen populaation on todettu olevan geneettisesti monimuotoinen, mutta vaihtelu on pienempää kuin Norjan ja Venäjän populaatioissa (Kvist ym. 2015). Alaskassa lajin todettiin selviävän kaikilla kymmenellä tutkimusalueella, vaikka muussa lajistossa tapahtui suuriakin muutoksia hanhien liikalaidunnuksen vuoksi (Funk ym. 2004). Rönsysorsimo on edullisissa oloissa myös hyvä kolonisoija, joka täyttää nopeasti vedenpuoleisimmat paljaat alueet. Suolansietokykynsä (Kvist ym. 2015) ansiosta se pystyy kolonisoimaan myös suolamaita.

Lämpötilalla ei ole todettu olevan merkittävää vaikutusta rönsysorsimon kasvuun, ellei lämpö aiheuta kasvupaikkojen kuivumista (Handa ja Jefferies 2000). Saetersdalin ja Birksin (1997) mukaan lumipeite ei ole lajille välttämätön, mutta lumettomuus voi lisätä muiden lajien kilpailua. Laji sietää huonosti korkeita kesälämpötiloja. Jos hanhien ylilaidunnus pirstoo kasvustoja liiaksi, voi uudistuminen olla vaikeaa liian lämpimässä ja kuivassa ilmastossa. Myrskyt voivat kasata orgaanista aineista kasvustojen päälle. Jää ja routa muuttavat nyt rantoja ja aiheuttavat nopeatkin muutoksia rannan dynamiikassa, mutta lumen, roudan ja jääeroosion poistuttua muu kasvillisuus voi vallata rönsysorsimon kasvupaikat. Myös muutokset hydrologiassa ja suolapitoisuudessa voivat olla uhka (mm. Martini ym. 2009). Mikäli merenpinnan nousu kompensoi maankohoamisen vaikutukset, ei uutta kasvitonta kasvualaa enää paljastune riittävästi Perämeren pohjukassa.

Suojelu ja hoito: Nykyiset rönsysorsimon kasvupaikat Suomessa ovat suojeltuja, ja niillä on karjan laidunnusta. Laji ei reagoi kasvupaikkojen hoitoon yhtä helposti kuin esimerkiksi ruijannuokkuesikko (Rautiainen ym. 2007; Kreivi 2009). Ajoittainen hoito voi edistää kasvien kasvua poistamalla kilpailevaa lajistoa, mutta hoidon avulla ei pystytä kokonaan eliminoimaan ilmastomuutoksen haitallisia vaikutuksia. Lajin elvyttämistä kokeiltiin siirtämällä kasvia uusille paikoille 1960-luvulla, mutta ne eivät vakiintuneet (Siira 2011). ESCAPE Life -hankkeessa rönsysorsimoa istutettiin viiteen paikkaan Hailuodon ulkopuolelle Iin Krunneilta Siikajoelle vuonna 2015. Laikut olivat hiukan kasvaneet seuraavana kesänä (Markkola 2016b).

3.28.

Hämeenkylmänkukka (*Pulsatilla patens*)

Levinneisyys: Hämeenkylmänkukkaa tavataan Euroopan, Aasian ja Pohjois-Amerikan boreaalisilla ja temperaattisilla, mantereisilla alueilla. Suomessa lajin kasvustot

ovat suppealla alueella Hämeessä. Lajin levinneisyysalue Suomessa on itäosastaan yhteinen kangasvuokon (*P. vernalis*) kanssa, jonka kanssa laji risteytyy.

Kasvupaikat: Hämeen kylmänkukan nykyiset kasvupaikat Suomessa ovat niukka-kasvuisissa suhteellisen avoimissa, happamuudeltaan neutraaleissa harjumetsissä. Suurin osa kasvupaikoista on sekä Suomessa että Kanadassa loivilla rinteillä, etenkin rinteiden yläosissa. Kanadassa suurin osa on pohjoisrinteillä, Suomessa etelä- ja länsirinteillä (Llorca 2012). Useat jäljellä olevat esiintymät Suomessa ovat polkujen varsilla tai muilla paikoilla, joissa sammalkerros puuttuu tai on niukka.

Tiheä sammalpeite ja runsas karikkeen määrä ovat haitallisia sekä kukinnan että taimien vakiintumisen kannalta. Optimaalisimmalla kasvupaikalla on osittain avoin kenttä- ja pohjakerros, joka voi olla seurausta esimerkiksi ihmisen aiheuttamista häiriöistä (Kalliovirta ym. 2006; Vellak ym. 2009). Suora paahde ei ole lajille välttämättä eduksi, osittainen varjo suojaa kasveja ääreviltä lämpötiloilta (Kalamees ym. 2005).

Hämeen kylmänkukka on esihistoriallisella kaudella ollut riippuvainen ajoittaisista metsäpaloista, jotka edistivät sen suvullista lisääntymistä (Kalamees ym. 2005). Myöhemmin metsälaidunnus ja metsien monipuolinen käyttö korvasivat osittain metsäpalojen vaikutuksia. Laji on suuresti taantunut nykyisen, aiempaa tehokkaamman metsätalouden vuoksi, sillä tiheä männyn taimivaihe ja paksu sammalpeite peittävät kenttäkerroksen ja tukahduttavat kylmänkukat. Pohjois-Amerikan preerialla kylmänkukan populaatiot ovat taantuneet palojen ehkäisyn sekä puiden ja heinien varjostuksen vuoksi, jolloin kasvien uudistumiselle ei ole enää mahdollisuuksia (Kraszewski & Waller 2008).

Lisääntyminen: Hämeen kylmänkukka on tuppaina kasvava pitkäikäinen kevätkasvi. Se on risti- tai itsepölytteinen. Pölyttäjinä ovat hyönteiset. Siemenissä on lenninhaiven ja ne pystyvät leviämään kohtalaisen hyvin tuulen mukana. Kangasvuokolla tehtyjen tutkimusten mukaan pääosa siemenistä kuitenkin varisee metrin tai parin päähän emokasveista (Crone 2016). Sopivilla avoimilla paikoilla siementen itävyys on hyvä, se vaihtelee kuitenkin suuresti vuosittain. Lajilla ei ole pysyvää siemenpankkia, mutta siemenet voivat säilyä maassa ainakin seuraavaan vuoteen ennen itämistä (Kalliovirta ym. 2006; Crone 2016). Paikallisesti kasvit levittäytyvät haarovan maavarren ja juurisilmujen avulla ja muodostavat tuppaita. Cronen (2016) mukaan kasvi varastoi resursseja juurensa ja pystyy siten kukkimaan runsaasti suotuisina vuosina. Populaatiokoko on laskenut Suomessa jatkuvasti viimeisten 50 vuoden kuluessa, jäljellä on noin 1 000 yksilöä.

Sopeutumiskyky: Rajallisen leviämiskyvyn (Llorca 2012) vuoksi kylmänkukkien selviytymisstrategia on yksilöiden pitkäikäisyys, ei uusille paikoille leviäminen. Kolonisointia auttaa tuli, joka tuo valoa, poistaa sammalta sekä tuo kasvupaikoille hiiltä, joka muuttaa maaperän kemiallisia olosuhteita kylmänkukalle sopiviksi. Sienirihmasto edistää kylmänkukan siementen itämistä ja taimien vakiintumista. Sienijuuri auttaa käyttämään maaperän fosforia, mutta se voi myös estää taudinaiheuttajien pääsyn juureen (Moora ym. 2004).

Lajin on todettu kukkivan Kanadassa nykyisin (1980–2000) jopa kaksi viikkoa varhemmin keväällä kuin ennen (1930–1970) (Beaubien 2013). Kukinnan aikaistuminen oli kaksi kertaa nopeampaa kuin ilmaston lämpenemisen mukaan olisi ollut odotettavissa. Tämän vuoksi kukinta on altis kevään halloille ja suurille lämpötilan vaihteluilla (Beaubien & Hamann 2011; Beaubien 2013). Myös liiallinen lämpeneminen on lajille tuhoisaa: dormanssin rikkoutuminen edellyttää kylmäkäsittelyä, joka jää lämpimässä ilmastossa saamatta (Beaubien & Hamann 2011). Lämmön nousun tai vesisateen lisääntymisen aiheuttama lumipeitteen väheneminen voi tulevaisuudessa johtaa kasvien liian varhaiseen kehitykseen, ja siten alttius halloille voi edelleen

lisääntyä. Myös kukinnan samanaikaisuus pölyttäjien aktiivisuuskauden kanssa on tärkeää. Pölyttäjät, kuten mehiläiset edellyttävät jatkuvaa meden saatavuutta ja siten useiden erilaisten kasvien samanaikaista kukintaa. Beaubienin (2013) mukaan kylmänkukan kukinnan paras indikaattori ei ole kevään maksimi-, vaan minimilämpötila. Kun talven ja varhaisen kevään lämpötilat nousevat, kylmänkukan keväisen kehityksen aikaistuminen uhkaa etenkin temperaattisen vyöhykkeen esiintymiä.

Liettuassa lajin on arveltu olevan suuressa häviämisvaarassa mantereisten vaatimustensa vuoksi (Ignatavicius & Toleikiene 2017). Berry'n ym. (2007) ennusteen mukaan kylmänkukka menettää 90–100 prosenttia lajille soveltuvasta ilmastoalasta Euroopassa vuoteen 2080 mennessä.

Suojelu ja hoito: Noin neljännes hämeenkylmänkukan Suomen populaatioista on suojeltu. Kaikki suurimmat, elinvoimaisimmat populaatiot ovat suojelualueilla ja niitä on myös hoidettu elinympäristöä raivaamalla ja muuta kasvillisuutta poistamalla muun muassa Paahde-Life -hankkeessa. Elinympäristöjen mosaiikkimaisuuden lisääminen edistää sekä kukintaa että taimien vakiintumista (Kalliovirta ym. 2006). Populaatioiden pitkäaikainen säilyminen edellyttäisi kulotusta, jonka avulla voitaisiin myös luoda uutta lajille soveltuvaa elinympäristöä (Kalamees ym. 2005).

3.29.

Lettorikko (*Saxifraga hirculus*)

Levinneisyys: Lettorikon levinneisyys on sirkumpolaarinen, lajia tavataan laajalti sekä boreaalisella että arktisella alueella. Keski-Euroopassa lettorikko on aiemmin ollut paljon nykyistä yleisempi, mutta elinympäristöjen kuivatus, rakentaminen ja umpeenkasvu ovat hävittäneet lajin monin paikoin. Myös Suomen eteläisimmät esiintymät ovat hävinneet. Nykyisin lajia tavataan meillä maan keskiosista Utsjoelle asti.

Kasvupaikat: Lettorikon kasvupaikat Suomessa ovat enimmäkseen paljaita tai niukakasvuisia lähteikköjä ja lähdelettoja. Trofiatasoltaan (typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet) lettorikon kasvupaikat ovat erittäin vaihtelevia, vähäravinteisista oligotrofisista soista runsasravinteisiin eutrofisiin, optimin ollessa mesotrofinen (Vittoz ym. 2006). Irlannissa lettorikon esiintyminen on selvästi yhteydessä sellaisiin soihin, lähteisiin ja muihin kosteikkoihin, jotka sijaitsevat yli 175 metriä merenpinnan yläpuolella olevilla tasangoilla, ja joiden maksimilämpötilat ovat alhaisia (alle 15 astetta), sademäärä on korkea (vuotuinen sademäärä 1 000 – 1 700 mm) ja vuotuiset säätilan vaihtelut ovat vähäiset (Beatty ym. 2014). Alaskassa tehdyissä kokeissa lettorikon ei havaittu hyötyvän lämpötilan nostosta (Hollister & Webber 2000). Huippuvuorten kokeessa siementen itävyys oli +18 asteessa noin kolme prosenttia, mutta tätä kylmemmässä siemenet eivät itäneet lainkaan (Müller ym. 2011). Vittozin ym. (2006) mukaan ilman lämpötilalla ei näyttäisi olevan suurta merkitystä. Sen sijaan jatkuva kylmän veden virtaus hyvin lähellä juuristoa on lajille elintärkeä. Sveitsissä kasvupaikkojen veden lämpötila 25 cm:n syvyydessä vaihtelee elokuussa kahdestatoista neljääntoista asteeseen (Vittoz ym. 2006).

Lisääntyminen: Lettorikko on lyhytikäinen monivuotinen, ruusukkeellinen ruoho. Se kasvaa runsaasti rönsyjä, joiden päihin kehittyy ruusukkeita. Ruusukkeiden määrä on Suomessa arviolta satoja tuhansia – miljoonia. Vain pieni osa ruusukkeista kehittää kukkavarsia, ja pienet kukkimattomat ruusukkeet jäävät helposti huomaamatta. Kukat ovat voimakkaasti aikaisheteisiä, mutta itsepölytys on mahdollista. Monet erilaiset hyönteiset pölyttävät kukkia (Beatty ym. 2014). Siementuotto on koh-

talainen, joskin se vaihtelee suuresti eri paikoilla ja eri vuosina. Ruotsissa havaittiin pienin siementuotto harvakasvuissa populaatioissa, joissa oli keskimäärin kolme kukkivaa kasvia neliömetrillä. Suurin siementuotto oli ravinteisilla letoilla tiheissä kasvustoissa, joissa oli noin 120 kukkivaa kasvia neliömetrillä (Ohlson 1988). Siemenet leviävät huonosti, enimmäkseen ne varisevat emokasvien juurelle (Beatty ym. 2014) tai kulkeutuvat paikallisesti veden mukana. Lajilla on siemenpankki, mutta sen pysyvyydestä ei ole tietoja (Puchalski ym. 2014).

Sopeutumiskyky: Lajin strategia on pysytellä kasvupaikoillaan ja levittäytyä paikallisesti rönsyjen avulla. Itsepölytyksen yleisyyden ja populaatioiden välisen geenivaihdon vähäisyyden vuoksi populaatiot ovat geneettisesti hyvin homogeenisia (Dahlgård & Warncke 1995). Kasvupaikkakohtainen muuntelu kuitenkin edistää sopeutumista erilaisiin ympäristö- ja mikroilmasto-oloihin. Ohlsonin (1989) mukaan esimerkiksi eri paikoilta kerättyjen siementen erilainen dormanssi on osoitus lettorikon kasvupaikkakohtaisesta erilaistumisesta. Fenotyyppinen vaihtelu on merkittävää levinneisyysalueen eri osissa, mutta myös toisiaan lähellä olevilla kasvupaikoilla, jopa samalla suolla. Lettorikko on heikko kilpailija, joka hyötyy kasvipeitteen avoimuudesta, vaatii jatkuvaa kosteutta ja hyvää happipitoisuutta eikä kestä pitkäaikaisia tulvia (Vittoz ym. 2006). Kasvupaikkojen kuivuminen sekä rahkasammalen, sarojen ja pensaiden kasvu johtaa lajin katoamiseen. Siementaimet ovat hyvin herkkiä kuivumiselle ja toisaalta veden alle tukehtumiselle. Taimet vakiintuvat parhaiten paljaalla turpeella, ja laji hyötyykin erilaisista luonnon häiriöistä.

Ignataviciuksen ja Toleikien (2017) mukaan lettorikko ei tule kovin paljon karsimään ilmastonmuutoksesta Liettuassa, mikäli kasvupaikat eivät pääse liikaan kuivumaan. Sateiden lisääntyminen voi kompensoida lämmön noususta aiheutuvaa kuivumista (Hollister & Webber 2000). Kylmän veden vaatimus voi silti osoittautua lajin säilymisen kynnyksymykseksi etenkin temperaattisella alueella.

Suojelu ja hoito: Suomessa noin 65 prosenttia lettorikon nykyesiintymistä on suojeltuja. Joitakin kasvupaikkoja on ennallistettu vesitaloutta palauttamalla. Elinympäristöjen kosteusolosuhteita tulee seurata.

3.30.

Pohjankehtoailakki (*Silene involucrata* subsp. *tenella*)

Levinneisyys: Pohjankehtoailakkia tavataan harvinaisena Euraasian pohjoisimmissa osissa, mutta suomalainen rotu eroaa geneettisesti muista Fennoskandian roduista. Suomessa on yksi kasvupaikka Oulangan kansallispuistossa.

Kasvupaikat: Pohjankehtoailakki kasvaa paljailla tai niukkakasvuilla kalliohyllyllä, koilliseen avautuvalla jyrkällä joenrantakalliolla. Laji on kalkinvaatija. Ruotsissa ja Norjan Huippuvuorilla kasvin sanotaan kasvavan jokivarsien kuivilla kasvupaikoilla. Nimilajia (*Silene furcata*) pidetään äärimmäisen herkkänä, lämpöä suosivana lajina, joka indikoi Huippuvuorilla lämpöoloiltaan suotuisia kasvupaikkoja. Kokeissa kaikkien lehtien ja kukkien todettiin kuolevan alkukesän kylmäkäsittelyssä – 7 as-teessa (Körner & Alsos 2009). Nimilajin makrofossiileja on löydetty myös Keski-Euroopan vuoristoista. On arveltu, että laji ei siedä korkeita kesä- ja talvilämpötiloja, vaatii pitkän päivänpituuden (Birks & Willis 2008), ja on siksi joutunut vetäytymään pohjoiseen.

Lisääntyminen: Pohjankehtoailakki on tuppaina kasvava monivuotinen kasvi. Se on risti- tai itsepölytteinen, pölyttäjinä ovat hyönteiset. Siementuotto on kohtalainen tai heikko, sillä nykyinen kasvupaikka Oulangalla on melko sulkeutuneessa metsässä, joskin jyrkässä kalliorinteessä. Siemenet varisevat emokasvien juurelle. Lajin siemenpankki on niukka ja se lieenee lyhytikäinen. Kasvi haaroo tyvestä ja muodostuu tuppaisiksi useista steriileistä ruusukkeista.

Sopeutumiskyky: Harvinaisuutensa vuoksi pohjankehtoailakin sopeutumiskyvystä erilaisiin oloihin ei ole paljonkaan tietoja. Laji on heikko kilpailija. Populaatio on pienentynyt viime vuosikymmeninä kasvupaikkana olevan kalliorinteen sammaloitumisen vuoksi, ja jäljellä on enää alle 100 yksilöä.

Suojelu ja hoito: Suomen ainoa kasvupaikka on suojeltu. Populaatiokoko on hyvin pieni ja sen elvyttäminen on kiireellistä. Kallio oli aiemmin helposti rapautuva, mutta nykyään sen pintaan on kerääntynyt paksu sammalpeite, joka estää taimien vakiintumisen.

3.31.

Lapinkaurake (*Trisetum subalpestre*)

Levinneisyys: Lapinkaurake on boreaalis-arktinen, euraasialainen laji, jonka päälevinneisyysalue on Siperiassa Jenisein, Lenan ja muiden isojen jokien varsilla (Johansen & Hyttborn 2001). Fennoskandiassa lapinkauraketta kasvaa suppealla alueella Kõliveriston pohjoisosassa. Sinne se lieenee levinnyt Siperian jokivarsilta ajopuiden tai jokisedimenttien mukana pleistoseenikauden jäätiköitymisen jälkeen (Johansen & Hyttborn 2001). Suomessa lajia tavataan kahden joen varrella Enontekiöllä.

Kasvupaikat: Lajin kasvupaikat Suomessa ovat paljaita tai niukkakasvuisia jokivarren tulvivia somerikkoja, niittyjä tai polunvarsia. Myös Ruotsissa ja Siperiassa kasvupaikat ovat suurten jokien kostean mikroilmaston vaikutuspiirissä (Johansen & Hyttborn 2001). Huippuvuorilla lähilaji tähkäaurake (*Trisetum spicatum*) kasvaa muiden mesotrofisten lajien kanssa hiekkakivisten kallioiden koloissa, missä kasvit saavat suojaa pitkään pysyvistä lumesta (Engelskjøn ym. 2003).

Lisääntyminen: Lapinkaurake on melko lyhytikäinen, mättäinä kasvava heinä. Sen kukat pölyttyvät tuulen avulla. Siementuotto on kohtalainen tai heikko, ja vihneelliset pähkylät varisevat passiivisesti emokasvien lähelle. Lajilla on vaihtuva, ilmeisesti lyhytikäinen siemenpankki. Kasvit muodostavat mättäitä maavarren lyhyiden haarojen avulla. Suomessa on kahden joen varrella yhteensä noin 1 000 yksilöä.

Sopeutumiskyky: Ståhlin (2009) mukaan ilmaston lämpenemisen aiheuttama talvien leudontuminen, sateiden lisääntyminen ja jääeroosion väheneminen lisäävät jokivarsien muuta kilpailevaa kasvillisuutta ja vähentävät lapinkaurakkeelle sopivia niukkakasvuisia somerikkoja. Ståhl (2009) arvelee lapinkaurakkeen kärsivän ja populaatioiden pienenevän tulevaisuudessa. Toisaalta laji on selvinnyt jäätikön vetäytymistä seuranneen lämpökauden yli, jolloin keskilämpötilat olivat selvästi nykyistä korkeammat. Nykyinen ilmaston muuttuminen on kuitenkin nopeaa eivätkä kasvit ehkä ehdi sopeutua siihen.

Suojelu ja hoito: Suomessa puolet kasvupaikoista on suojelualueella, mutta loputkin paikat on suojeltu vesirakentamiselta. Kasvupaikoilla ei ole nyt hoitotarvetta. Ilmastomuutoksen vaikutuksia on kuitenkin seurattava.

Pahtahietaorvokki (*Viola rupestris* subsp. *relicta*)

Levinneisyys: Pahtahietaorvokkia tavataan Fennoskandian pohjoisosissa, missä se on endeeminen. Suomen kasvupaikat ovat suppealla alueella Kilpisjärvellä.

Kasvupaikat: Pahtahietaorvokin kasvupaikat ovat paljaita tai niukkakasvuisia kalio-, pahta- tai kivipintoja. Se on kalkinsuosija ja heikko kilpailija. Uudistuakseen laji vaatii rapautuvaa liuskekiveä tai häiriöalttiin maapohjan, ja se hyötyy siksi porojen laidunnuksesta (Kauhanen 2013).

Lisääntyminen: Pahtahietaorvokki on melko lyhytikäinen ruusukkeellinen ruoho. Se on risti- tai itsepölytteinen, pölyttäjinä ovat hyönteiset. Siementuotto on kohtalainen. Siemenet varisevat emokasvien juureen, mistä muurahaiset levittävät niitä. Lajin siemenpankki on vaihtuva, todennäköisesti lyhytikäinen. Itävyys on ilmeisen hyvä ja taimien vakiintuminen onnistuu hyvin avoimessa pohjakerroksessa, sillä nuoria yksilöitä on paikoin runsaasti. Pystyn ja lyhythaaraisen maavartensa ja juurisilmujen avulla kasvit muodostavat ruusukeryhmiä. Yksilömäärä on noin 3 000, joista viidesosa on kukkivia. Uusia kasvustoja on löytynyt viime vuosina.

Sopeutumiskyky: Suomessa pahtahietaorvokki on pohjois- ja länsirajallaan eikä ehkä pysty löytämään uusia kasvupaikkoja ilmaston lämmetessä. Kesien kuivuminen ei ehkä häiritse sitä nykyisillä paikoillaan, ellei kilpaileva kasvillisuus lisäännä. Pahtahietaorvokki on hieteorvokin (*Viola rupestris*) alalaji. Hieteorvokki on mantereinen, itäinen, kuivuutta sietävä laji, jonka arvellaan Norjassa lisääntyvän ja leviävän lännemmäs ja korkeammalle vuoristoon ilmastonmuutoksen ja siitä johtuvan kesien kuivumisen vuoksi (Holten 1990). Hieteorvokkia rajoittava vuotuisen sademäärän maksimi on Norjassa 700 mm.

Suojelu ja hoito: Kaikki tunnetut pahtahietaorvokin Suomen nykyesiintymät ovat suojelualueilla. Kasvupaikoilla ei tarvita hoitotoimia, mutta ilmastonmuutoksen vaikutuksia elinympäristöön ja populaatioihin on seurattava.

4 Muu tarkastelussa mukana ollut lajisto

Luontodirektiivin lajien lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutuksia arvioitiin joukkoon muita kasveja. Näitä olivat 1) uhanalaiset lajit, joille ilmastonmuutoksen arvioitiin vuoden 2010 uhanalaisuuden arvioinnissa olevan ensisijainen uhka (Rassi ym. 2010) (tämän liitteen Luku 4.1.), 2) uhanalaiset lajit, joille ilmastonmuutos on toissijainen uhka (Luku 4.2.) ja 3) pohjoiset uhanalaiset lajit, joilla on ilmastonmuutoksen mahdollisesti uhkaamia erillisesiintymiä etelässä (Luku 4.3.). Pintapuolisesti tarkasteltiin myös 4) muita uhanalaisia, silmälläpidettäviä tai elinvoimaisia lajeja, joille ilmastonmuutos saattaa tulevaisuudessa muodostua uhkatekijäksi (Luku 4.4.). Taulukoissa 5–7 on esitetty vuoden 2019 Punaisen kirjan (Hyvärinen ym. 2019) uhanalaisuusluokat ja elinympäristöt edellä mainituille lajeille.

4.1.

Uhanalaiset lajit, joille ilmastonmuutos on ensisijainen uhka

Tarkastelussa olivat mukana sellaiset vuoden 2010 arvioinnissa uhanalaisiksi (luokkiin CR, EN tai VU) arvioidut putkilokasvilajit, joille ilmastonmuutos on ensisijainen uhkatekijä (Rassi ym. 2010). Näitä oli kaikkiaan 12 lajia (Taulukko 5). Punaisessa kirjassa 2019 (Hyvärinen ym. 2019) näistä viiden lajin uhanalaisuusluokkaa nostettiin aiempaa korkeammaksi ilmastonmuutosuhan vuoksi. Lisäksi 10 muuta lajia arvioitiin nyt uhanalaisiksi ensisijaisesti ilmastonmuutoksen aiheuttaman uhan vuoksi (Hyvärinen ym. 2019). Näitä ovat: ruijankissankäpäälä (*Antennaria nordhageniana*, EN), kaljukissankäpäälä (*A. porsildii*, EN), isokissankäpäälä (*A. villifera*, EN), nokisara (*Carex fuliginosa*, VU), lumikynsimö (*Draba nivalis*, VU), tummakallioinen (*Erigeron humilis*, VU), tunturihilpi (*Phippsia algida*, VU), jääleinikki (*Ranunculus glacialis*, EN), lapinalppiruusu (*Rhododendron lapponicum*, VU) ja sopulintunturitädyke (*Veronica alpina* subsp. *pumila*, EN) (Luku 4.4.).

Levinneisyydeltään nämä lajit ovat arktis-alpiinisia, monet sirkumpolaarisia, ja Suomessa ne kasvavat vain pohjoisimmassa Lapissa. Lähes kaikilla näillä lajeilla on laaja kansainvälinen levinneisyysalue. Ruijankissankäpäälä on kuitenkin Norjalle ja Suomelle kotoperäinen kansainvälinen harvinaisuus ja se on siten Suomen kansainvälinen vastuulaji. Kaikki ovat meillä harvinaisia ja useimmat ovat kasvupaikoiltaan niukkoja. Valtaosa näiden lajien populaatioista on pohjoisilla suojelualueilla tai erämaa-alueilla. Lajien arvioidaan olevan meillä muilta uhkatekijöiltä turvassa, ja tämän vuoksi toissijaiseksi uhaksi on arvioitu useimmiten satunnaistekijät.

Näistä lajeista useimmat ovat kalkinvaatijoita tai -suosijoita, ja niiden kasvupaikat ovat pääasiassa korkeimpien tunturien kankailla, niityillä tai louhikoissa. Ne ovat etupäässä kesäkukkijoita. Useimmat ovat ristipölyteisiä, mutta siementuotto on heikko ja leviämiskyky huono, siemenet varisevat yleensä emokasvien juureen. Nämä niukkoina esiintyvät vaativien kasvupaikkojen lajit ovat vaarassa taantua tai jopa hävitä ilmastonmuutoksen edetessä (Niskanen ym. 2017a; 2017b; 2017c; 2019; Niskanen 2018).

Taulukko 5. Vuonna 2010 uhanalaisiksi arvioitut putkilokasvit, joille ilmastonmuutos arvioitiin ensisijaiseksi uhkatekijäksi.

Suomenkielinen ja tieteellinen nimi	Heimo	Uhanalaisuus 2019 (Hyvärinen ym. 2019)	Uhkatekijät (Hyvärinen ym. 2019, myös Rassi ym. 2010) ¹⁾	Uhanalaisuus 2010 (Rassi ym. 2010)	Uhanalaisuus 2000 (Rassi ym. 2001)	Suojeltuja paikkoja Suomessa %	Esiintymisalueen koko Suomessa km ²	Elinympäristön pääluokka (Hyvärinen ym. 2019)	Kukinta-aika (Retkeilykasvio 1998)
Norjanarho, <i>Arenaria norvegica</i>	Caryophyllaceae	EN	I, S	VU	EN	100	10	Tunturit	VII–VIII
Kiirunankello, <i>Campanula uniflora</i>	Campanulaceae	CR	I, S	VU	NT	73	25–100	Tunturit	VII
Tunturisarake, <i>Carex myosuroides</i>	Cyperaceae	CR	I, S	CR	EN	100	<10	Tunturit	VII
Hentokatkeri, <i>Comastoma tenellum</i>	Gentianaceae	EN	I, S	EN	VU	92	10	Tunturit	VII–VIII
Kultakynsimö, <i>Draba alpina</i>	Brassicaceae	CR	I, S	EN	CR	100	8	Tunturit	VII–VIII
Tunturikynsimö, <i>Draba fladnizensis</i>	Brassicaceae	EN	I, S	VU	NT	54	25–100	Tunturit	VI–VII
Isokynsimö, <i>Draba glabella</i>	Brassicaceae	VU	I, S	VU	VU	86	100–600	Tunturit	VI–VII
Lapinkynsimö, <i>Draba lactea</i>	Brassicaceae	EN	I, S	VU	NT	85	<100	Tunturit	VI–VII
Sopulinkallioinen, <i>Erigeron borealis</i>	Asteraceae	VU	I, S	VU	VU	88	<100	Tunturit	VII–VIII
Otasilmäruoho, <i>Euphrasia salisburgensis</i>	Orobanchaceae	EN	I, S	EN	VU	92	10	Tunturit	VII
Rikkileinikki, <i>Ranunculus sulphureus</i>	Ranunculaceae	CR	I, S	EN	VU	100	10–100	Tunturit	VII–VIII
Rusonätä, <i>Sabulina rubella</i>	Caryophyllaceae	VU	I, S	VU	VU	77	10–100	Tunturit	VII–VIII

¹⁾ Uhkatekijät (Hyvärinen ym. 2019): I = ilmastonmuutos, S = satunnaistekijät.

4.2.

Uhanalaiset lajit, joille ilmastonmuutos on toissijainen uhka

Tarkastelussa olivat mukana myös sellaiset uhanalaisiksi arvioitut lajit, joille ilmastonmuutos arvioitiin toissijaiseksi uhkatekijäksi vuoden 2010 arvioinnissa (Rassi ym. 2010). Näitä oli kaikkiaan 19 lajia (Taulukko 6). Vuoden 2019 Punaissä kirjassa ilmastonmuutosta ei arvioitu merkittäväksi uhkatekijäksi näistä baltiankämmekälle (*Dactylorhiza majalis* subsp. *baltica*), pikkupungalle (*Lysimachia minima*) eikä punasuolayrtille (*Salicornia perennans*) (Hyvärinen ym. 2019). Sen sijaan ilmastonmuutos arvioitiin toissijaiseksi uhkatekijäksi taulukossa 5 mainittujen lisäksi neljälle uhanalaiselle tunturikasville: sysisaralle (*Carex atrofusca*, VU), tunturinädälle (*Sabulina stricta*, VU), karvamaksaruoholle (*Sedum villosum*, EN) ja pahta-ailakille (*Silene wahlbergella*, VU) (Luku 4.4.).

Suurin osa näistä lajeista kasvaa Itämeren rannoilla. Ilmastonmuutosta tärkeämmiksi uhkatekijöiksi näille lajeille arvioitiin etenkin rehevöitymisestä aiheutuva kasvupaikkojen umpeenkasvu ja pieniin populaatioihin kohdistuvat satunnaiset tapahtumat. Heikkoina kilpailijoina monet näistä lajeista hyötyvät laidunnuksesta.

Kalvaskallioisen (*Erigeron acris* subsp. *decoloratus*) levinneisyys rajoittuu Fennoskandiaan, ja meritattaren (*Polygonum oxyspermum*) levinneisyysaluetta on Itämeren ympäristö. Ne ovat Suomen kansainvälisiä vastuulajeja (Rassi ym. 2001, alla olevassa

taulukossa *). Muut lajit ovat kokonaislevinneisyydeltään laaja-alaisia. Osa lajeista on meillä harvinaisia ja niukkoja, mutta joillakin on vielä laajahko levinneisyys- ja esiintymisalue, jolla on myös isoja kasvustoja. Suojelutilanne vaihtelee suuresti lajeittain, mutta useimpien suojelutilanne on hyvä. Jalavat ovat kevätkukkijoita, muut ovat kesäkasveja.

Taulukko 6. Vuonna 2010 uhanalaisiksi arvioidut putkilokasvit, joille ilmastonmuutos arvioitiin toissijaiseksi uhkatekijäksi.

Suomenkielinen ja tieteellinen nimi	Heimo	Uhanalaisuus 2019 (Hyvärinen ym. 2019)	Uhanalaisuus 2010 (Rassi ym. 2010)	Uhanalaisuus 2000 (Rassi ym. 2001)	Suojeltuja paikkoja Suomessa %	Esiintymisalueen koko Suomessa km ²	Elinympäristön pääluokka (Hyvärinen ym. 2019)	Kukinta-aika (Retkeilykasvio 1998)
Siroarnikki, <i>Arnica angustifolia</i>	Asteraceae	EN	EN	VU	96	>120	Tunturit	VII–VIII
Merikastikka, <i>Calamagrostis arenaria</i>	Poaceae	EN	EN	VU	36	24	Itämeren rannat	VII
Tunturiorho, <i>Chamorchis alpina</i>	Orchidaceae	EN	EN	NT	92	10–100	Tunturit	VII–VIII
Baltiankämmekekä, <i>Dactylorhiza majalis</i> subsp. <i>baltica</i> ¹⁾	Orchidaceae	EN	CR		0	4–100	Itämeren rannat	VI
Merihaprajuola, <i>Elytrigia juncea</i> subsp. <i>boreoatlantica</i>	Poaceae	EN	VU	CR	89	10–100	Itämeren rannat	VIII–IX
Kalvaskallioinen, <i>Erigeron acris</i> subsp. <i>decoloratus</i> *	Asteraceae	VU	VU	NT	82	60–100	Jokirannat	VI–VIII
Rantakatkerö, <i>Gentianella uliginosa</i>	Gentianaceae	EN	EN	VU	13	100	Itämeren rannat	VII–IX
Pikkupunka, <i>Lysimachia minima</i> ¹⁾	Primulaceae	EN	EN	EN	40	20–100	Itämeren rannat	VI–VII
Kenttöörakko, <i>Ononis spinosa</i> subsp. <i>arvensis</i>	Fabaceae	VU	VU	VU	53	40–100	Itämeren rannat	VII–VIII
Tunturikeulankärki, <i>Oxytropis lapponica</i>	Fabaceae	CR	CR	EN	100	4	Tunturit	VII–VIII
Meritatar, <i>Polygonum oxyspermum</i> *	Polygonaceae	CR	CR	CR	100	8	Itämeren rannat	VII–IX
Merihaarikko, <i>Sagina maritima</i>	Caryophyllaceae	EN	EN	VU	82	40–200	Itämeren rannat	VI–VIII
Punasuolayrtti, <i>Salicornia perennans</i> ¹⁾	Chenopodiaceae	EN	EN	EN	38	100–200	Itämeren rannat	VIII–IX
Meriotakilokki, <i>Salsola kali</i>	Chenopodiaceae	EN	EN	EN	58	100	Itämeren rannat	VII–VIII
Valkosuolapunka, <i>Samolus valerandi</i>	Primulaceae	EN	EN	EN	8	80–200	Itämeren rannat	VII–VIII
Merisolmukki, <i>Spergularia media</i>	Caryophyllaceae	CR	CR	LC	0	10	Itämeren rannat	VII–IX
Pikkukilokki, <i>Suaeda maritima</i>	Chenopodiaceae	CR	EN	EN	0	16–20	Itämeren rannat	VII–IX
Vuorijalava, <i>Ulmus glabra</i>	Ulmaceae	VU	VU	VU	24	>100	Metsät	IV–V
Kynäjalava, <i>Ulmus laevis</i>	Ulmaceae	VU	VU	VU	6	200–500	Metsät	V

¹⁾ Ilmastonmuutosta ei arvioitu lajin uhkatekijäksi enää Punaisessa kirjassa 2019 (Hyvärinen ym. 2019).

Pohjoiset uhanalaiset lajit, joilla on eteläisiä erillisesiintymiä

Lisäksi tarkastelussa oli mukana 11 pohjoista, vuoden 2010 uhanalaisuuden arvioinnissa (Rassi ym. 2010) uhanalaiseksi arvioitua lajia, joilla on eteläisiä erillisesiintymiä (Taulukko 7). Ilmastomuutoksen ei arveltu olevan niille merkittävä uhkatekijä, mutta tavoitteena oli selvittää, kohdistuuko näiden lajien eteläisiin esiintymiin uhkia ilmastomuutoksen seurauksena. Pohjannoidanlukkkoa (*Botrychium boreale*) ei arvioitu enää Punaisessa kirjassa 2019 uhanalaiseksi, se on nyt silmälläpidettävä (NT) (Hyvärinen ym. 2019). Lehtonoidanlukkko (*Botrypus virginianum*, EN), lettosara (*Carex heleonastes*, VU), lettohermesara (*Carex viridula* var. *bergrothii*, VU), lapinkämmekkä (*Dactylorhiza majalis* subsp. *lapponica*, VU), turjanhorsma (*Epilobium laestadii*, EN), korallimetsänemä (*Epipogium aphyllum*, VU), himmeävilla (*Eriophorum brachyantherum*, VU), sääskenvalkku (*Malaxis monophyllos*, EN), lapinesikko (*Primula stricta*, EN) ja ruskoruosteheinä (*Schoenus ferrugineus*, EN) ovat edelleen uhanalaisia. Ilmastomuutosta ei arvioitu millekään näistä lajeista merkitykselliseksi uhkatekijäksi Punaisessa kirjassa 2019.

Lajien levinneisyysalueet ovat laajoja ja populaatiokoot suuria. Lajit ovat soiden, kosteiden metsien tai rantojen kasveja. Monet näistä lajeista ovat heikkoja kilpailijoita, jotka hyötyvät viileästä ilmastosta ja kasvupaikkojen häiriöistä ja kärsivät siten rehevöitymisen ja kuivumisen seurauksena lisääntyneestä umpeenkasvusta. Pohjannoidanlukkko, lettosara, lettohermesara, turjanhorsma ja himmeävilla ovat Suomen kansainvälisiä vastuulajeja (Rassi ym. 2001). Muut lajit ovat levinneisyydeltään laajalaisia. Vain lettosaran ja lapinesikon kasvupaikat ovat hyvin suojeltuja ja himmeävillan kasvupaikat kohtalaisesti suojeltuja, pääosa muiden lajien esiintymistä on suojelun ulkopuolella. Mikään näistä lajeista ei ole välittömässä häviämisaarassa, mutta ilmastomuutoksen myötä lisääntyvä umpeenkasvu ja kasvupaikkojen kuivuminen voivat jatkossa supistaa populaatiokoot liian pieniksi etenkin maan eteläosissa.

Muut uhanalaiset, silmälläpidettävät tai elinvoimaiset lajit, joille ilmastomuutos voi olla uhka

Tarkastelussa oli mukana myös 69 muuta lajia, joiden tulevaisuutta muuttuvassa ilmastossa arvioitiin kirjallisuuslähteiden perusteella (Taulukko 7). Näistä lajeista oli uhanalaisia (VU, EN tai CR) vuoden 2010 arvioinnissa 15 lajia, silmälläpidettäviä (NT) 28 lajia ja elinvoimaisia (LC) 26 lajia (Rassi ym. 2010). Silmälläpidettävistä lajeista 26:lla arvioitiin ilmastomuutoksen olevan ensisijainen tai toissijainen uhkatekijä, muilla lajeilla ilmastomuutosta ei vielä 2010 arvioitu merkittäväksi uhaksi. Punaisessa kirjassa 2019 (Hyvärinen ym. 2019) tarkastelluista 69 lajista arvioitiin uhanalaisiksi 22 ja silmälläpidettäväksi 46 lajia.

Lajit ovat pääosin pohjoisia, muutama esiintyy meillä vain maan eteläosissa. Osa lajeista on hyvin suppea-alaisia ja monet ovat kalkinvaatijoita tai -suosijoita. Ruijankissankäpälä ja perämerensilmäruoho (*Euphrasia bottnica*) ovat Suomen kansainvälisiä vastuulajeja (Rassi ym. 2001, taulukossa 7 merkitty tähdellä, *). Lajien suojelutilanteet ja populaatiokoot vaihtelevat suuresti, moni laji on meillä niukka. Osasta lajeja on heikosti tietoa Eliölajit-tietokannassa tai esiintyminen tunnetaan vain suojelualueilta. Lajeista löytyi kirjallisuudesta vain vähän tietoja suoraan ilmastomuutoksen vaikutuksiin liittyen eikä niitä ehditty tarkastella yksityiskohtaisesti.

Tuoreiden tietojen perusteella (mm. Niskanen ym. 2017a; 2017b; 2017c) monelle tämän ryhmän lajeista ilmastomuutos voi tulevaisuudessa muodostua uhkateki-

jäksi. Taulukossa 7 luetellaan vain ne lajit, joille ilmastonmuutoksen arvioitiin olevan joko ensisijainen tai toissijainen uhkatekijä vuonna 2019 (Hyvärinen ym.). Näistä 58 lajista 14 arvioitiin vuonna 2019 uhanalaisiksi ja 44 silmälläpidettäväksi. 44 lajille (76 %) ilmastonmuutos on ensisijainen uhkatekijä.

Taulukko 7. Muut uhanalaisiksi tai silmälläpidettäväksi arvioidut lajit, joille ilmastonmuutos arvioitiin uhkatekijäksi Punaisessa kirjassa 2019.

Suomenkielinen ja tieteellinen nimi	Heimo	Uhanalaisuus 2019 (Hyvärinen ym. 2019)	Uhanalaisuus 2010 (Rassi ym. 2010)	Uhanalaisuus 2000 (Rassi ym. 2001)	Elinympäristön pääluokka (Hyvärinen ym. 2019)
Harmaakissankäpälä, <i>Antennaria canescens</i>	Asteraceae	NT	LC	LC	Tunturit
Ruijankissankäpälä, <i>Antennaria nordhageniana</i> * ¹⁾	Asteraceae	EN	VU	VU	Tunturit
Kaljukissankäpälä, <i>Antennaria porsildii</i> ¹⁾	Asteraceae	EN	VU	NT	Tunturit
Isokissankäpälä, <i>Antennaria villifera</i> ¹⁾	Asteraceae	EN	NT	NT	Tunturit
Tunturikissankello, <i>Campanula rotundifolia</i> subsp. <i>groenlandica</i>	Campanulaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Mustasara, <i>Carex atrata</i>	Cyperaceae	NT	NT	LC	Tunturit
Sysisara, <i>Carex atrofusca</i> ²⁾	Cyperaceae	VU	NT	NT	Tunturit
Itämerensara, <i>Carex extensa</i>	Cyperaceae	NT	NT	LC	Itämeren rannat
Nokisara, <i>Carex fuliginosa</i> ¹⁾	Cyperaceae	VU	NT	NT	Tunturit
Varvassara, <i>Carex glacialis</i>	Cyperaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Somersara, <i>Carex glareosa</i>	Cyperaceae	NT	NT	LC	Itämeren rannat
Vihnesara, <i>Carex paleacea</i>	Cyperaceae	NT	NT	LC	Itämeren rannat
Kalliosara, <i>Carex rupestris</i>	Cyperaceae	NT	NT	LC	Tunturit
Liekovarpio, <i>Cassiope tetragona</i>	Ericaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Pikkusappi, <i>Centaurium pulchellum</i>	Gentianaceae	NT	NT	LC	Itämeren rannat
Kellohärkki, <i>Cerastium nigrescens</i>	Caryophyllaceae	NT	NT	LC	Tunturit
Lapinuuvana, <i>Diapensia lapponica</i>	Diapensiaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Lumikynsimö, <i>Draba nivalis</i> ¹⁾	Brassicaceae	VU	NT	NT	Tunturit
Tunturilapinvuokko, <i>Dryas octopetala</i>	Rosaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Tummakallioinen, <i>Erigeron humilis</i> ¹⁾	Asteraceae	VU	NT	LC	Tunturit
Villatunturikallioinen, <i>Erigeron uniflorus</i> subsp. <i>eriocephalus</i>	Asteraceae	NT	NT	NT	Tunturit
Perämerensilmäruoho, <i>Euphrasia bottnica</i> *	Orobanchaceae	NT	NT	LC	Itämeren rannat
Lehtosaarni, <i>Fraxinus excelsior</i>	Oleaceae	NT	LC	LC	Metsät
Tunturikatkerö, <i>Gentiana nivalis</i>	Gentianaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Tunturisammalvarpio, <i>Harrimanella hypnoides</i>	Ericaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Lapinmaarianheinä, <i>Hierochloë odorata</i> subsp. <i>odorata</i>	Poaceae	NT	NT	LC	Tunturit
Tundrakurjentatar, <i>Koenigia islandica</i>	Polygonaceae	NT	NT	LC	Tunturit
Iturikko, <i>Micranthes foliolosa</i>	Saxifragaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Pahtarikko, <i>Micranthes nivalis</i>	Saxifragaceae	NT	LC	LC	Kalliot
Tähtirikko, <i>Micranthes stellaris</i>	Saxifragaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Lumirikko, <i>Micranthes tenuis</i>	Saxifragaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Lumijäkkärä, <i>Omalotheca supina</i>	Asteraceae	NT	LC	LC	Tunturit
Karvakuusio, <i>Pedicularis hirsuta</i>	Orobanchaceae	NT	NT	LC	Tunturit
Tunturihilpi, <i>Phippsia algida</i> ¹⁾	Poaceae	VU	NT	LC	Tunturit
Ruijanpaasihanhikki, <i>Potentilla arenosa</i> subsp. <i>chamissonis</i>	Rosaceae	NT	NT	NT	Tunturit
Pahtahanhikki, <i>Potentilla nivea</i>	Rosaceae	NT	NT	NT	Tunturit
Jääleinikki, <i>Ranunculus glacialis</i> ¹⁾	Ranunculaceae	EN	NT	LC	Tunturit

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko jatkuu edelliseltä sivulta

Suomenkielinen ja tieteellinen nimi	Heimo	Uhanalaisuus 2019 (Hyvärinen ym. 2019)	Uhanalaisuus 2010 (Rassi ym. 2010)	Uhanalaisuus 2000 (Rassi ym. 2001)	Elinympäristön pääluokka (Hyvärinen ym. 2019)
Lumileinikki, <i>Ranunculus nivalis</i>	Ranunculaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Pikkuleinikki, <i>Ranunculus pygmaeus</i>	Ranunculaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Lapinalppiruusu, <i>Rhododendron lapponicum</i> ¹⁾	Ericaceae	VU	NT	NT	Tunturit
Tunturinätä, <i>Sabulina stricta</i> ²⁾	Caryophyllaceae	VU	VU	NT	Tunturit
Lumihaarikko, <i>Sagina nivalis</i>	Caryophyllaceae	NT	NT	NT	Tunturit
Vaivaispaju, <i>Salix herbacea</i>	Salicaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Napapaju, <i>Salix polaris</i>	Salicaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Verkkolehtipaju, <i>Salix reticulata</i>	Salicaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Nuokkurikko, <i>Saxifraga cernua</i>	Saxifragaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Mätäsrikko, <i>Saxifraga cespitosa</i>	Saxifragaceae	NT	LC	LC	Kalliot
Sinirikko, <i>Saxifraga oppositifolia</i>	Saxifragaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Purorikko, <i>Saxifraga rivularis</i>	Saxifragaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Karvamaksaruoho, <i>Sedum villosum</i> ²⁾	Crassulaceae	EN	VU	EN	Tunturit
Tunturinärvänä, <i>Sibbaldia procumbens</i>	Rosaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Tunturikohokki, <i>Silene acaulis</i>	Caryophyllaceae	NT	LC	LC	Tunturit
Tataarikohokki, <i>Silene tatarica</i>	Caryophyllaceae	NT	VU	VU	Rannat
Pahta-ailakki, <i>Silene wahlbergella</i> ²⁾	Caryophyllaceae	VU	NT	NT	Tunturit
Rakkoapila, <i>Trifolium fragiferum</i>	Fabaceae	NT	NT	NT	Itämeren rannat
Sopulintunturitädyke, <i>Veronica alpina</i> subsp. <i>pumila</i> ¹⁾	Plantaginaceae	EN	VU	LC	Tunturit
Varputädyke, <i>Veronica fruticans</i>	Plantaginaceae	NT	NT	NT	Tunturit
Meriajokas, <i>Zostera marina</i>	Zosteraceae	NT	LC	LC	Itämeri

* Suomen kansainvälinen vastuulaji (Rassi ym. 2001)

¹⁾ Vuoden 2019 arvioinnin (Hyvärinen ym. 2019) mukaan kuuluu ryhmään 'Uhanalaiset, joille ilmastonmuutos on ensisijainen uhkatekijä' (luku 4.1).

²⁾ Vuoden 2019 arvioinnin (Hyvärinen ym. 2019) mukaan kuuluu ryhmään 'Uhanalaiset, joille ilmastonmuutos on toissijainen uhkatekijä' (luku 4.2).

Kirjallisuus

- Ababneh, L. & Woolfenden, W. (2010) Monitoring for potential effects of climate change on the vegetation of two alpine meadows in the White Mountains of California, USA. *Quaternary International* 215: 3–14.
- Abeli, T., Jäkäläniemi, A., Wannas, L., Mutikainen, P. & Tuomi, J. (2013) Pollen limitation and fruiting failure related to canopy closure in *Calypso bulbosa* (Orchidaceae), a northern food-deceptive orchid with a single flower. *Botanical Journal of the Linnean Society* 171: 744–750.
- Alahuhta, J., Heino, J. & Luoto, M. (2011) Climate change and the future distributions of aquatic macrophytes across boreal catchments. *Journal of Biogeography* 38: 383–393.
- Alahuhta, J., Hellsten, S., Kuoppala, M. & Riihimäki, J. (2018) Regional and local determinants of macrophyte community compositions in high-latitude lakes of Finland. *Hydrologia* 812: 99–114.
- Alsos, I.G., Müller, E. & Eidesen, P.B. (2013) Germinating seeds or bulbils in 87 of 113 tested Arctic species indicate potential for ex situ seed bank storage. *Polar Biology* 36: 819–830.
- Anderson, D.G. (2006) *Botrychium simplex* E. Hitchcock (little grapefern) A Technical Conservation Assessment. USDA Forest Service, Rocky Mountain Region, Species Conservation Project. 75 s.
- Andersson, S. (1996) Seed size as a determinant of germination rate in *Crepis tectorum* (Asteraceae): Evidence from a seed burial experiment. *Canadian Journal of Botany* 74: 568–572.
- Andersson, S. & Shaw, R.G. (1994) Phenotypic plasticity in *Crepis tectorum* (Asteraceae): genetic correlations across light regimens. *Heredity* 72: 113–125.
- Beatty, G.E., Reid, N. & Provan, J. (2014) Retrospective genetic monitoring of the threatened Yellow marsh saxifrage (*Saxifraga hirculus*) reveals genetic erosion but provides valuable insights for conservation strategies. *Diversity and Distributions* 20: 529–537.
- Beaubien, E. (2013) Spring flowering trends in Alberta, Canada: response to climate change, urban heat island effects, and an evaluation of a citizen science network. University of Alberta. PhD Thesis. 118 s.
- Beaubien, E. & Hamann, A. (2011) Spring Flowering Response to Climate Change between 1936 and 2006 in Alberta, Canada. *BioScience* 61: 514–524.
- Bednorz, L. (2003) Population dynamics of *Liparis loeselii* (L.) L. C. Rich. In the nature reserve 'Mielno' – some results from an 8-year study. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 6: 1–5.
- Bell, K.L. & Bliss, L.C. (1980) Plant Reproduction in a High Arctic Environment. *Arctic and Alpine Research* 12: 1–10.
- Belogradova, I., Grauda, D., Jakobsone, G. & Rashal, I. (2012) Usability of retrotransposone-based molecular marker system to assess genetic diversity of *Liparis loeselii*. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis* 12: 40–43.
- Bernhardt, P. & Edens-Meier, R. (2010) What We Think We Know vs. What We Need to Know About Orchid Pollination and Conservation: *Cypripedium* L. as a Model Lineage. *Botanical Review* 76: 204–219.
- Berry, P.M., Jones, A.P., Nicholls, R.J. and Vos, C.C. (toim.) (2007) Assessment of the vulnerability of terrestrial and coastal habitats and species in Europe to climate change. Annex 2 of Planning for biodiversity in a changing climate. BRANCH project Final Report, Natural England, UK. 57 s.
- Bertness, M.D. & Ewanchuk, P.J. (2002) Latitudinal and climate-driven variation in the strength and nature of biological interactions in New England salt marshes. *Oecologia* 132: 392–401.
- Billings, W.D. & Peterson, K.M. (1980) Vegetational Change and Ice-Wedge Polygons through the Thaw-Lake Cycle in Arctic Alaska. *Arctic and Alpine Research* 12: 413–432.
- Bintanja, R. & Andry, O. (2017) Towards a rain-dominated Arctic. *Nature Climate Change* 7: 263–267.
- Birks, H.J. & Willis, K.J. (2008) Alpines, trees, and refugia in Europe. *Plant Ecology & Diversity* 1: 147–160.
- Bliss, L.C. (1958) Seed germination in Arctic and Alpine Species. *Arctic* 11: 180–188.
- Borner, A.P., Kielland, K. & Walker, M.D. (2008) Effects of simulated climate change on plant phenology and nitrogen mineralization in Alaskan arctic tundra. *Arctic Antarctic Alpine Research* 40: 27–38.
- Bouchard, J.R., Fernando, D.D., Bailey, S.W., Weber-Townsend, J. & Leopold, D.J. (2017) Contrasting Patterns of Genetic Variation in Central and Peripheral Populations of *Dryopteris fragrans* (Fraxant Wood Fern) and Implications for Colonization Dynamics and Conservation. *Journal of Plant Sciences* 178: 607–617.
- Breen, K. & Lévesque, E. (2006) Proglacial succession of biological soil crusts and vascular plants: biotic interactions in the High Arctic. *Canadian Journal of Botany* 84: 1714–1731.
- Bucharová, A., Münzbergová, Z. & Tájek, P. (2010) Population biology of two rare fern species: Long life and long-lasting stability. *American Journal of Botany* 97: 1260–1271.
- Bucharová, A. & Münzbergová, Z. (2012) Gene flow among populations of two rare-occurring fern species differing in ploidy level. *PLoS ONE* 7: e45855.
- Callaghan, T.V., Björn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T., Huntley, B. & Shaver, G. (2004) Past changes in arctic terrestrial ecosystems, climate and UV radiation. *Ambio* 33: 398–403.
- Casazza, G., Borghesi, B., Roccotello, E. & Minuto, L. (2008) Dispersal mechanisms in some representatives of the genus *Moehringia* L. (Caryophyllaceae). *Acta Oecologica* 33: 246–252.
- Cooper, E.J., Jónsdóttir, I.S. & Pahud, A. (2006) Grazing by captive Barnacle geese affects graminoid growth and productivity on Svalbard. *Memoirs of National Institute of Polar Research Special Issue* 59. 15 s.
- Council of Europe (2012) Biodiversity and climate change: reports and guidance developed under the Bern Convention, Volume II. Nature and environment No. 160.

- Crone, E. (2016) Contrasting effects of spatial heterogeneity and environmental stochasticity on population dynamics of a perennial wildflower. *Journal of Ecology* 104: 281–291.
- Dahlgaard, J. & Warncke, E. (1995) Seed set and germination in crosses within and between two geographically isolated small populations of *Saxifraga hirculus* in Denmark. *Nordic Journal of Botany* 15: 337–341.
- Dahlskog, S. (1980) The Sibirian fern *Athyrium crenatum* (Somf.) Rupr. found in Sweden at Kvikkjokk, SW Lule Lappmark. *Acta Phytogeographica Suecica* 68: 51–60.
- Efimov, P., Jäkäläniemi, A., Bogdanov, A., Abeli, T., Wannas, L. & Tuomi, J. (2012) Self-pollination in *Calypso bulbosa*. *Journal Europäischer Orchideen* 44: 349–364.
- Engelskjøn, T., Lund, L. & Alsos, I.G. (2003) Twenty of the most thermophilous vascular plant species in Svalbard and their conservation state. *Polar Research* 22: 317–339.
- Ermakov, N. & Makhatkov, I. (2011) Classification of Northern Boreal Dark Coniferous Forests of the West Siberian Plain. *Annali di Botanica* 1: 29–36.
- Essl, F., Dullinger, S., Moser, D., Rabitsch, W. & Kleinbauer, I. (2012) Vulnerability of mires under climate change: implications for nature conservation and climate change adaptation. *Biodiversity and Conservation* 21: 655–669.
- Fernando, D.D., Leopold, D.J. & Bailey, S.W. (2014) Genetic, Phenotypic, and Habitat Analyses of *Dryopteris fragrans*, a Rare Fern in the Northern Forests: Implications for Management and Long-Term Survival. Northeastern States Research Cooperative (NSRC), Northern Forest states (New Hampshire, Vermont, Maine, and New York) & USDA Forest Service. [www.nsrcforest.org; viitattu 5.9.2019].
- Funk, D.W., Noel, L.E. & Freedman, A.H. (2004) Environmental gradients, plant distribution, and species richness in arctic salt marsh near Prudhoe Bay, Alaska. *Wetlands Ecology and Management* 12: 215–233.
- Gałka, M. & Apolinarska, K. (2014) Climate change, vegetation development, and lake level fluctuations in Lake Purwin (NE Poland) during the last 8600 cal. BP based on a high-resolution plant macrofossil record and stable isotope data (δ13C and δ18O). *Quaternary International* 328–329: 213–225.
- Gałka, M., Tobolski, K. & Kołaczek, P. (2012) The Holocene decline of slender naiad (*Najas fl exilis* (Willd.) Rostk. & W.L.E. Schmidt) in NE Poland in the light of new palaeobotanical data. *Acta Palaeobotanica* 52: 127–138.
- García, M.B., Goñi, D. & Guzman, D. (2010) Living at the Edge: Local versus Positional Factors in the Long-Term Population Dynamics of an Endangered Orchid. *Conservation Biology* 24: 1219–1229.
- Glick, P. & Stein, B.A. (toim.) (2010) Scanning the Conservation Horizon: A Guide to Climate Change Vulnerability Assessment. Draft. National Wildlife Federation, Washington, D.C. 164 s.
- Grime, J.P., Fridley, J.D., Askew, A.P., Thompson, K., Hodgson, J.G., Bennett, C.R. (2008) Long-term resistance to simulated climate change in an infertile grassland. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)* 105: 10028–10032.
- Groot, G.A. de & During, H. (2013) Fern Spore Longevity in Saline Water: Can Sea Bottom Sediments Maintain a Viable Spore Bank? *PLoS ONE* 8: e0079470.
- Goswami, S. (2011) Monitoring ecosystem dynamics in an Arctic tundra ecosystem using hyperspectral reflectance and a robotic tram system. *Dissertation Abstracts International* 73 4B. The University of Texas at El Paso. 185 s.
- Guisan, A. & Theurillat, J.P. (2001) Assessing alpine plant vulnerability to climate change: a modeling perspective. *Integrated Assessment* 1: 307–320.
- Gureyeva, I.I. & Timoshok, E.E. (2016) Ferns in the Present-Day Periglacial Zone of the Central Altai. *Contemporary Problems of Ecology* 9: 18–28.
- Haas, J.N., Richoz, I., Tinner, W. & Wick, L. (1998) Synchronous Holocene climatic oscillations recorded on the Swiss Plateau and at timberline in the Alps. *The Holocene* 8: 301–309.
- Handa, I.T. & Jefferies, R.L. (2000) Assisted revegetation trials in degraded salt-marshes. *Journal of Applied Vegetation* 37: 944–958.
- Heschel, M.S., Sultan, S.E., Glover, S. & Sloan, D. (2004) Population Differentiation and Plastic Responses in the Generalis Annual *Polygonum persicaria*. *International Journal of Plant Sciences* 165: 817–824.
- Hik, D.S., Sadul, H.A. & Jefferies, R.L. (1991) Effects of the Timing of Multiple Grazings by Geese on Net Above-Ground Primary Production of Swards of *Puccinellia phryganodes*. *Journal of Ecology* 79: 715–730.
- Hill, G.B. & Henry, G.H.R. (2011) Responses of High Arctic wet sedge tundra to climate warming since 1980. *Global Change Biology* 17: 276–287.
- Hollister, R.D. & Webber, P.J. (2000) Biotic validation of small open-top chambers in a tundra ecosystem. *Global Change Biology* 6: 835–842.
- Holten, J.I. (1990) Predicted floristic change and shift of vegetation zones in a coast-inland transect in Central Norway. Ss. 61–77 teoksessa Holten, J.I.: Effects of climate change on terrestrial ecosystems. Report from a seminar in Trondheim 16.01.1990. NINA Notat 4.
- Huhta, E. (2016) Metsätalouden vaikutukset neidonkenkään – seurantatutkimus. Luonnonvarakeskus, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus X/2016. 22 s.
- Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) (2019) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 s.

- Hällfors, M.H., Liao, J., Dzurisin, J., Grundel, R., Hyvärinen, M., Towle, K., Wu, G.W. & Hellmann, J.J. (2016) Addressing potential local adaptation in species distribution models: implications for conservation under climate change. *Ecological Applications* 26: 1154–1169.
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T. & Uotila, P. (toim.) (1998) *Retkeilykasvio*. Luonnontieteellinen keskusmuseo, Kasvimuseo. Helsinki. 656 s.
- Ignatavicius, G. & Toleikiene, M. (2017) Optimisation of the conservation of rare and vulnerable plant species in the perspective of climate change in Lithuanian (nature) reserves. *Archives of Environmental Protection* 43: 61–73.
- Issakainen, J., Kemppainen, E., Mäkelä, K., Hakalaisto, S. & Koistinen, M. (2011) Hentonäkinruoho (*Najas tenuissima*) ja notkeanäkinruoho (*Najas flexilis*). Suomen uhanalaisia lajeja. Suomen ympäristö 13/2011. 223 s.
- Jefferies, R.L., Jano, A.P. & Abraham, K.F. (2006) A biotic agent promotes large-scale catastrophic change in the coastal marshes of Hudson Bay. *Journal of Ecology* 94: 234–242.
- Johansen, S. & Hytteborn, H. (2001) A Contribution to the Discussion of Biota Dispersal with Drift Ice and Driftwood in the North Atlantic. *Journal of Biogeography* 28: 105–115.
- Johansson, M.M., Kahma, K.K., Boman, H. & Launiainen, J. (2004) Scenarios for sea level on the Finnish coast. *Boreal Environmental Research* 9: 153–166.
- Johnson-Groh, C.L. & Lee, J.M. (2002) Phenology and demography of two species of *Botrychium* (Ophioglossaceae). *Journal of Botany* 89: 1624–1633.
- Ju, S., Xiuzhen, L., Xianwei, W., Jiujun, L. & Zongmei, L. (2010) Plant Species Distribution in Permafrost Wetlands of the Great Hing'an Mountain Valleys and Its Response to Global Climate Change. *Journal of Earth Science* 21 Special: 266–270.
- Juslén, A., Väre, H. & Wikström, N. (2011) Relationships and evolutionary origins of polyploid *Dryopteris* (Dryopteridaceae) from Europe inferred using nuclear *pgiC* and plastid *trnL-F* sequence data. *Taxon* 60: 1284–1294.
- Jäkäläniemi, A., Illarionova, I. & Rankou, H. (2011) *Calypso bulbosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2011. e.T161965A5521214. [https://www.iucnredlist.org/species/161965/5521214; viitattu 12.9.2019]
- Kalamees, R., Püssa, K., Vanha-Majamaa, I. & Zobel, K. (2005) The effects of fire and stand age on seedling establishment of *Pulsatilla patens* in a pine-dominated boreal forest. *Canadian Journal of Botany* 83: 688–693.
- Kalliola, R. (1937) *Dryopteris fragrans* (L.) Schott, ein für Europa neuer Farn. *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo"* 9: 1–56.
- Kalliovirta, M., Rytteri, T. & Heikkinen, R. (2006) Population structure of a threatened plant, *Pulsatilla patens*, in boreal forests: modelling relationships to overgrowth and site closure. *Biodiversity and Conservation* 15: 3095–3108.
- Kauhanen, H.O. (2013) Mountains of Kilpisjärvi host an abundance of threatened plants in Finnish Lapland. *Botanica Pacifica* 2: 1–10.
- Kelso, S. (1992) The Genus *Primula* as a Model for Evolution in the Alaskan Flora. *Arctic and Alpine Research* 24: 82–87.
- Kemper, J.T. & Macdonald, S.E. (2009) Directional change in upland tundra plant communities 20–30 years after seismic exploration in the Canadian low-arctic. *Journal of Vegetation Science* 20: 557–567.
- Kemppainen, E. & Kaipainen-Väre, H. (2017) Kiireellisesti suojeltavien lajien priorisointineuvottelut vuosina 2012–2017. Yhteenveto. Ympäristöministeriön raportteja 26/2017. 80 s.
- Klady, R.A., Henty, G.H.R. & Lemay, V. (2011) Changes in high arctic tundra plant reproduction in response to long-term experimental warming. *Global Change Biology* 17: 1611–1624.
- Kontula, T. & Raunio, A. (toim.) (2018) Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s.
- Kraszewski, S.E. & Waller, D.M. (2008) Fifty-Five Year Changes in Species Composition on Dry Prairie Remnants in South-Central Wisconsin. *The Journal of the Torrey Botanical Society* 135: 236–244.
- Kreivi, M. (2009) Conservation genetics and phylogeography of endangered boreoarctic seashore plant species. *Acta Universitatis Ouluensis, A Scientiae Rerum Naturalium* 521. 82 s.
- Kreivi, M., Rautiainen, P., Aspi, J. & Hyvärinen, M. (2005) Genetic structure and gene flow in an endangered perennial grass, *Arctophila fulva* var. *pendulina*. *Conservation Genetics* 6: 683–696.
- Kull, T. (1998) Fruit-set and recruitment in populations of *Cypripedium calceolus* L. in Estonia. *Botanical Journal of the Linnean Society* 126: 27–38.
- Kvist, L., Aminian, L., Rouger, R., Kreivi, M., Laurila, M., Hyvärinen, M., Aspi, J. & Markkola, A. (2015) A climatic relict or a long-distance disperser: conservation genetics of an Arctic disjunct polyploid plant. *Conservation Genetics* 16: 1489–1499.
- Körner, K. & Alsos, I.G. (2009) Freezing resistance in high arctic plant species of Svalbard in mid-summer. *Bauhinia* 21: 25–32.
- Lahti, M. (2009) Two-dimensional aquatic habitat quality modelling. TTK Dissertations 177. Helsinki University of Technology, Espoo. 279 s.
- Laitinen, T. (2006) Tikankontin tila Suomessa. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 154. 97 s.
- Landhausser, S.M. & Wein, R.W. (1993) Postfire vegetation recovery and tree establishment at the Arctic treeline: climate-change-vegetation-response hypotheses. *Journal of Ecology* 81: 665–672.

- Lansdown, R.V. (2011) *Alisma wahlenbergii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T161817A5499552. [http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T161817A5499552.en; viitattu 4.9.2019].
- Lee, Y.M., Penskar, M.R., Badra, P.J., Klatt, B.J. & Schools, E.H. (2011) Climate Change Vulnerability Assessment of Natural Features in Michigan's Coastal Zone – Phase I: Assessing Rare Plants and Animals. Michigan Coastal Management Program Office of the Great Lakes & Michigan Department of Environmental Quality 2011–18. 80 s.
- Lesica, P., McCune, B. & Ezcurra, E. (2004) Decline of arctic-alpine plants at the southern margin of their range following a decade of climatic warming. *Journal of Vegetation Science* 15: 679–690.
- Lesica, P. & Kittelson, P.M. (2010) Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments* 74: 1013–1017.
- Lévesque, E. (1998) Plant distribution and colonization in extreme polar deserts, Ellesmere Island, Canada. A thesis submitted in conformity with the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, University of Toronto. 331 s.
- Levin, J. (2013) Taxonomisk och bevarandebiologisk status av intermediärer mellan *Sorbus aucuparia* (rönn) och *S. hybrida* (rönnoxel), tidigare räknade som *Sorbus meinichii* s.l. (fagerönn) på Åland. Raportti. Lunds Universitet. 14 s.
- Llorca, J.E. (2012) Spatial distribution and habitat preferences of the prairie crocus (*Pulsatilla patens*) in an urban landscape. Master of Science thesis, Central European University, Budapest. 86 s.
- Marchand, F.L., Mertens, S., Kockelbergh, F., Beyens, L. & Nijs, I. (2005) Performance of High Arctic tundra plants improved during but deteriorated after exposure to a simulated extreme temperature event. *Global Change Biology* 11: 2078–2089.
- Marchand, F.L., Nijs, I., Heuer, M., Mertens, S., Kockelbergh, F., Pontauiller, J.-Y., Impens, I. & Beyens, L. (2004) Climate Warming Postpones Senescence in High Arctic Tundra. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 36: 390–394.
- Markkola, J. (2016a) Pohjansorsimo *Arctophila fulva* var. *pendulina* – esiintymien tila 2016, hoito ja seuranta. Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus, luonto- ja alueidenkäyttöyksikkö. Raportti. 23 s.
- Markkola, J. (2016b) Rönssysorsimo *Puccinellia phryganodes* – esiintymien tila 2016, hoito ja seuranta. Metsähallitus, Luontopalvelut, Pohjanmaa. Raportti. 19 s.
- Martini, I.P., Jefferies, R.L., Morrison, R.I.G. & Abraham, K.F. (2009) Polar Coastal Wetlands: Development, Structure, and Land use. Ss. 119–155 teoksessa Perillo, M.E., Wolanski, E., Cahoon, D.R., Brinson, M.M. (toim.): *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*. Elsevier.
- McCarty, J.P. (2001) Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology* 15: 320–331.
- McKendrick, J.D. (1991) Sexual reproduction of *Arctophila fulva* and seasonal temperature, arctic coastal plain, Alaska. S. 430 teoksessa Weller, G., Wilson, C.L. & Severin, B.A.B. (toim.): *International conference on the role of polar regions in global change*, Fairbanks, AK (United States), 11–15 Jun 1990.
- Moen, J. & Lagerström, A. (2008) High Species Turnover and Decreasing Plant Species Richness on Mountain Summits in Sweden: Reindeer Grazing Overrides Climate Change? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 40: 382–395.
- Mokonya, N.H. (2010) Diversity of vascular plants in Swedish forests: comparison among and within forest, partially cut down and clear-cut forest communities. Halmstad University, School of Business and Engineering, Master Project. 24 s.
- Molau, U. & Alatalo, J.M. (1998) Responses of Subarctic-Alpine Plant Communities to Simulated Environmental Change: Biodiversity of Bryophytes, Lichens, and Vascular Plants. *Ambio* 27: 322–329.
- Moora, M., Öpik, M., Sen, R. & Zobel, M. (2004) Native arbuscular mycorrhizal fungal communities differentially influence the seedling performance of rare and common *Pulsatilla* species. *Functional Ecology* 18: 554–562.
- Moravcová, L., Zdkravský, P. & Hroudová, Z. (2001) Germination and seedling establishment in *Alisma gramineum*, *A. plantago-aquatica* and *A. lanceolatum* under different environmental conditions. *Folia Geobotanica* 36: 131–146.
- Moreau, M., Mercier, D., Laffly, D. & Roussel, E. (2008) Impacts of recent paraglacial dynamics on plant colonization: A case study on Midtre Lovénbreen foreland, Spitsbergen (79°N). *Geomorphology* 95: 48–60.
- Müller, E., Cooper, E.J. & Alsos, I.G. (2011) Germinability of arctic plants is high in perceived optimal conditions but low in the field. *Botany* 89: 337–348.
- Mägi, M., Semchenko, M., Kalamees, R. & Zobel, K. (2011) Limited phenotypic plasticity in range-edge populations: a comparison of co-occurring populations of two *Agrimonia* species with different geographical distributions. *Plant Biology* 13: 177–184.
- Nabe-Nielsen, J., Normand, S., Hui, F.K.C., Stewart, L., Bay, C., Nabe-Nielsen, L.I. & Schmidt, N.M. (2017) Plant community composition and species richness in the High Arctic tundra: From the present to the future. *Ecology and Evolution* 7: 10233–10242.
- Nicolé, F., Brzosko, E. & Till-Bottraud, I. (2005) Population Viability Analysis of *Cypripedium calceolus* in a Protected Area: Longevity, Stability and Persistence. *Journal of Ecology* 93: 716–726.
- Niittynen, P. & Luoto, M. (2017) The importance of snow in species distribution models of arctic vegetation. *Ecography* 40: 1–13.
- Niskanen, A. (2018) The spatial modelling of high-latitude plant richness and refugia in a changing environment. Academic dissertation. Department of Geosciences and Geography A61. University of Helsinki. 50 s.

- Niskanen, A.K.J., Heikkinen, R.K., Mod, H.K., Väre, H., Luoto, M. (2017a) Improving forecasts of arctic-alpine refugia persistence with landscape-scale variables. *Geografiska Annaler Series A. Physical Geography* 99: 2–14.
- Niskanen, A.K.J., Heikkinen, R.K., Väre, H., Luoto, M. (2017b) Drivers of high-latitude plant diversity hotspots and their congruence. *Biological Conservation* 212: 288–299.
- Niskanen, A.K.J., Luoto, M., Väre, H., Heikkinen, R.K. (2017c) Models of Arctic-alpine refugia highlight importance of climate and local topography. *Polar Biology* 40: 489–502.
- Niskanen, A.K.J., Niittynen, P., Aalto, J., Väre, H. & Luoto, M. (2019) Lost at high latitudes: Arctic and endemic plants under threat as climate warms. *Diversity and Distribution* 25: 809–821.
- Odland, A. (2014) Habitat preferences of some red-listed alpine plants in Scandinavia. *Nordic Journal of Botany* 32: 337–346.
- Ohlson, M. (1988) Size-Dependent Reproductive Effort in Three Populations of *Saxifraga hirculus* in Sweden. *Journal of Ecology* 76: 1007–1016.
- Ohlson, M. (1989) Ecotypic Differentiation and Phenotypic Plasticity in *Saxifraga hirculus* Populations in Central and Northern Sweden. *Holarctic Ecology* 12: 46–53.
- Pacifici, M., Foden, W.B., Visconti, P., Watson, J.E.M., Butchart, S.H.M., Kovacs, K.M., Scheffers, B.R., Hole, D.G., Martin, T.G., Akçakaya, H.R., Corlett, R.T., Huntley, B., Bickford, D., Carr, J.A., Hoffmann, A.A., Midgley, G.F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R.G., Williams, S.E., Willis, S.G., Young, B. & Rondinini, C. (2015) Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change* 5: 215–225.
- Pall, K. (2011) *Najas flexilis* (Najadaceae or Hydrocharitaceae), a Natura 2000 species – new for Austria. *Neireichia* 6: 11–26.
- Parmesan, C. (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecological and Evolutionary Systems* 37: 637–669.
- Puchalski, J., Niemczyk, M., Walerowski, P., Podyma, W. & Kapler, A. (2014) Seed banking of Polish endangered plants – the FlorNatur Project. *Biodiversity Research and Conservation* 34: 65–72.
- Rassi, P., Alanen, A., Kanerva, T. & Mannerkoski, I. (toim.) (2001) Suomen lajien uhanalaisuus 2000. Punainen kirja. Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 432 s.
- Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim.) (2010) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 685 s.
- Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.) (2008) Suomen luontotyyppien uhanalaisuus. Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet, osa 2: Luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristö 8/2008, Luonto. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Osa 1: 264 s., Osa 2: 572 s.
- Rautiainen, P. (2006) Population biology of the *Primula sibirica* group species inhabiting frequently disturbed seashore meadows: implications for management. *Acta Universitatis Ouluensis A Scientiae Rerum Naturalium* 453. 48 s.
- Rautiainen, P., Björnström, T., Niemelä, M., Arvola, P., Degerman, A., Erävuori, L., Siikamäki, P., Markkola, A., Tuomi, J. & Hyvärinen, M. (2007) Management of Three Endangered Plant Species in Dynamic Baltic Seashore Meadows. *Applied Vegetation Science* 10: 25–32.
- Rautiainen, P., Laine, A.-L., Aikio, S., Aspi, J., Siira, J. & Hyvärinen, M. (2004) Seashore disturbance and management of the clonal *Arctophila fulva*: Modelling patch dynamics. *Applied Vegetation Science* 7: 221–228.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C. & Punds, J.A. (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.
- le Roux, P.C., Aalto, J. & Luoto, M. (2013) Soil moisture's underestimated role in climate change impact modelling in low-energy systems. *Global Change Biology* 19: 2965–2975.
- Saetersdal, M. & Birks, H.J.B. (1997) A Comparative Ecological Study of Norwegian Mountain Plants in Relation to Possible Future Climatic Change. *Journal of Biogeography* 24: 127–152.
- Saetersdal, M., Birks, H.J.B. & Peglar, S.M. (1998) Predicting Changes in Fennoscandian Vascular-Plant Species Richness as a Result of Future Climatic Change. *Journal of Biogeography* 25: 111–122.
- Sandvik, S.M., Heegaard, E., Elven, R. & Vandvik, V. (2004) Responses of alpine snowbed vegetation to long-term experimental warming. *Écoscience* 11: 150–159.
- Schmidt, N.M., Kristensen, D.K., Michelsen, A. & Bay, C. (2012) High Arctic plant community responses to a decade of ambient warming. *Biodiversity* 13: 191–199.
- Sennikov, A.N. & Kurtto, A. (2017) A phylogenetic checklist of *Sorbus* s.l. (Rosaceae) in Europe. *Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica* 93: 1–78.
- Shaver, G.R., Bret-Harte, S.M., Jones, M.H., Johnstone, J., Gough, L., Laundre, J. & Chapin, E.S. (2001) Species composition interacts with fertilizer to control long-term change in tundra productivity. *Ecology* 82: 3163–3181.
- Shen, H., Tang, Y. & Washitani, I. (2006) Morphological plasticity of *Primula nutans* to hummock-and-hollow microsites in an alpine wetland. *Journal of Plant Research* 119: 257–264.
- Siira, J. (2011) Rönssorsimo (*Puccinellia phryganodes*) ja pohjansorsimo (*Arctophila fulva* var. *pendulina*) Perämerellä 1900-luvulla. Suomen ympäristö 6/
- Stridh, B. (2008) Åtgärdsprogram för ävjepilört 2007–2011 (*Persicaria foliosa*). Naturvårdsverket, Rapport 5821. 48 s.
- Ståhl, P. (2009) Åtgärdsprogram för venhavre 2009–2013 (*Trisetum subalpestre*). Naturvårdsverket, Rapport 5980. 30 s.
- Sugawara, T. (1993) Sexual Polymorphism in *Moehringia lateriflora* (Caryophyllaceae). *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* 44: 3–10.

- Syrjänen, K. & Rytteri, T. (1998) Uhanalaisten kasvien seuranta. Ympäristöopas 45. Suomen ympäristökeskus. 240 s.
- Tájek, P., Bucharová, A. & Münzbergová, Z. (2011) Limitation of distribution of two rare ferns in fragmented landscape. *Acta Oecologica* 37: 495–502.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Sykes, M.T., Araújo, M.B. & Prentice, I.C. (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS) 102: 8245–8250.
- Vargot, E.V., Shcherbakov, A.V., Bolotova, Y. & Uotila, P. (2016) Current Distribution and Conservation of *Najas tenuissima* (Hydrocharitaceae). *Nature Conservation Research* 1: 2–10.
- Vellak, A., Tuvi, E.-I., Reier, Ü., Kalamees, R., Roosalu, E., Zobel, M. & Pärtel, M. (2009) Past and Present Effectiveness of Protected Areas for Conservation of Naturally and Anthropogenically Rare Plant Species. *Conservation Biology* 23: 750–757.
- Virtanen, R., Luoto, M., Rämä, T., Mikkola, K., Hjort, J., Grytnes, J.-A. & Birks, H.J.B. (2010) Recent vegetation changes at the high-latitude tree line ecotone are controlled by geomorphological disturbance, productivity and diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19: 810–821.
- Vittoz, P., Wyss, T. & Gobat, J.-M. (2006) Ecological conditions for *Saxifraga hirculus* in Central Europe: A better understanding for a good protection. *Biological Conservation* 131: 594–608.
- Vuorinen, K.M. (2016) Arktinen kasvillisuus ja ilmastonmuutos – hyviä ja huonoja uutisia pohjoiselta metsänrajalta. *Luonnon Tutkija* 120: 52–63.
- Välranta, M., Birks, H.H., Helmens, K., Engels, S. & Piirainen, M. (2009) Early Weichselian interstadial (MIS 5c) summer temperatures were higher than today in northern Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews* 28: 777–782.
- Walker, X.J., Basinger, J.F. & Kaminskyj, S.G.W. (2010) Endorhizal Fungi in *Ranunculus* from Western and Arctic Canada: Predominance of Fine Endophytes at High Latitudes. *The Open Mycology Journal* 4: 1–9.
- Wannas, L. (2009) Petollinen kaunotar – Neidonkengän (*Calypso bulbosa*) pölytys ja suojele. Pro gradu -tutkielma, Biologian laitos, Oulun yliopisto. 50 s.
- Washitani, I. & Masuda, M. (1990) A Comparative Study of the Germination Characteristics of Seeds from a Moist Tall Grassland Community. *Functional Ecology* 4: 543–557.
- Wesser, S.D. & Armbruster, W.S. (1991) Species Distribution Controls Across A Forest-Steppe Transition: A Causal Model and Experimental Test. *Ecological Monographs* 61: 323–342.
- Wheeler, B.D., Lambley, P.W. & Geeson, J. (1998) *Liparis loeselii* (L.) Rich. In eastern England: constraints on distribution and population development. *Botanical Journal of the Linnean Society* 126: 141–158.
- Wingfield, R.A., Murphy, K.J., Hollingsworth, P. & Gaywood, M.J. (2004) The Ecology of *Najas flexilis*. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 017 (ROAME No. F98PA02). 88 s.
- Zhu, W., Tian, H., Xu, X., Pan, Y., Chen, G. & Lin, W. (2012) Extension of the growing season due to delayed autumn over mid and high latitudes in North America during 1982–2006. *Global Ecology and Biogeography* 21: 260–271.

Liite 2. Suomessa esiintyvien EU:n luontodirektiivin liitteiden II, IV ja V lajien suojelutasot kaudella 2013–2018 alpiinisella, borealisella ja Itämeren alueella, ja ilmastonmuutos lajin paineena ja/tai uhkana.

Koodi	Eliöryhmä	Lajin suomen-kielinen nimi raportoinnissa	Lajin tieteellinen nimi raportoinnissa	Boreaalinen 2019			Alpiininen 2019			Itämeri 2019		
				Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)
I352	Nisäkkäät	susi	<i>Canis lupus</i>	UI+			UI=					
I912	Nisäkkäät	ahma	<i>Gulo gulo</i>	UI+			FV=					
I361	Nisäkkäät	ilves	<i>Lynx lynx</i>	FV+			FV=					
I354	Nisäkkäät	karhu	<i>Ursus arctos</i>	FV+			FV=					
I911	Nisäkkäät	naali	<i>Vulpes lagopus</i>				U2					
I337	Nisäkkäät	euroopanmajava	<i>Castor fiber</i>	FV+								
I364	Nisäkkäät	harmaahylje	<i>Halichoerus grypus</i>							FV=		U
6307	Nisäkkäät	itämerennorppa	<i>Pusa hispida botnica</i>							UI+	P	U
6306	Nisäkkäät	saimaannorppa	<i>Pusa hispida saimensis</i>	U2=	P	U						
I334	Nisäkkäät	metsäjänis	<i>Lepus timidus</i>	FV=	P	U	FVx		U			
I355	Nisäkkäät	saukko	<i>Lutra lutra</i>	FV=			FV=					
I357	Nisäkkäät	näättä	<i>Martes martes</i>	FV=			FV=					
I358	Nisäkkäät	hilleri	<i>Mustela putorius</i>	UI=								
I937	Nisäkkäät	metsäpeura	<i>Rangifer tarandus ssp. fennicus</i>	FV+								
I313	Nisäkkäät	pohjanlepakko	<i>Eptesicus nilssonii</i>	FV=			XX					
I327	Nisäkkäät	etelänlepakko	<i>Eptesicus serotinus</i>	OCC								
I320	Nisäkkäät	isoviiksisiiippa	<i>Myotis brandtii</i>	XX								
I314	Nisäkkäät	vesisiippa	<i>Myotis daubentonii</i>	FV=								
I318	Nisäkkäät	lampisiippa	<i>Myotis dasycneme</i>	OCC								
I330	Nisäkkäät	viiksisiiippa	<i>Myotis mystacinus</i>	XX								
I322	Nisäkkäät	ripsisiippa	<i>Myotis nattereri</i>	XX								
I312	Nisäkkäät	isolepakko	<i>Nyctalus noctula</i>	OCC								
I317	Nisäkkäät	pikkulepakko	<i>Pipistrellus nathusii</i>	XX								
I309	Nisäkkäät	vaivaislepakko	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	OCC								
5009	Nisäkkäät	kääpiölepakko	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	OCC								
I326	Nisäkkäät	korvayökkö	<i>Plecotus auritus</i>	FV=								
I332	Nisäkkäät	kimolepakko	<i>Vespertilio murinus</i>	OCC								
I910	Nisäkkäät	liito-orava	<i>Pteromys volans</i>	UI-								
I343	Nisäkkäät	koivuhiiri	<i>Sicista betulina</i>	FVx								
I351	Nisäkkäät	pyöriäinen	<i>Phocoena phocoena</i>							OCC		
I214	Sammakkoeläimet	viitasammakko	<i>Rana arvalis</i>	FV=								
I213	Sammakkoeläimet	sammakko	<i>Rana temporaria</i>	FV=			FV=					
I166	Sammakkoeläimet	rupilisko	<i>Triturus cristatus</i>	UIx	P	U						
I283	Matelijat	kangaskäärme	<i>Coronella austriaca</i>	UI-								
I130	Kalat	toutain	<i>Aspius aspius</i>	FV+								
6963	Kalat	rantanuoliainen	<i>Cobitis taenia</i>	FV=								
2492	Kalat	muikku	<i>Coregonus albula</i>	FV=		U	MAR			FV=		

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

Koodi	Eliöryhmä	Lajin suomen- kielinen nimi raportoinnissa	Lajin tieteellinen nimi raportoinnissa	Boreaalinen 2019			Alpiininen 2019			Itämeri 2019		
				Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)
6353	Kalat	siika	<i>Coregonus lavaretus</i>	FV-		U	FV=			UI=	P	U
6965	Kalat	kivisimppu	<i>Cottus gobio</i>	FV=			MAR					
1099	Kalat	nahkiainen	<i>Lampetra fluviatilis</i>	FV=								
1096	Kalat	pikkunahkiainen	<i>Lampetra planeri</i>	FV=			MAR					
2522	Kalat	miekkasärki	<i>Pelecus cultratus</i>	FV+								
1106	Kalat	lohi	<i>Salmo salar</i>	FV+		U	FV=					
1109	Kalat	harjus	<i>Thymallus thymallus</i>	XX	P	U	FV=			U2-	P	U
1091	Kuoriäyriäiset	jokirapu	<i>Astacus astacus</i>	UI-								
1034	Nivelmadot	verijuotikas	<i>Hirudo medicinalis</i>	XX								
1029	Nilviäiset	jokihelmsimpukka	<i>Margaritifera margaritifera</i>	U2-		U	U2=					
1032	Nilviäiset	vuollejokisimpukka	<i>Unio crassus</i>	FV=								
1014	Nilviäiset	kapeasiemenkotilo	<i>Vertigo angustior</i>	FV=								
1015	Nilviäiset	kalkkisiemenkotilo	<i>Vertigo genesii</i>	XX			XX					
1013	Nilviäiset	lettosiemenkotilo	<i>Vertigo geyeri</i>	FVx			XX					
1919	Kovakuoriaiset	korukeräpallokas	<i>Agathidium pulchellum</i>	UIx								
1920	Kovakuoriaiset	lahokapo	<i>Boros schneideri</i>	UIx								
1921	Kovakuoriaiset	kulonyhäkäs	<i>Corticaria cucujiformis</i>	U2								
1086	Kovakuoriaiset	punahärö	<i>Cucujus cinnaberinus</i>	U2-								
1081	Kovakuoriaiset	jättisukeltaja	<i>Dytiscus latissimus</i>	FV=								
1082	Kovakuoriaiset	isolampisukeltaja	<i>Graphoderus bilineatus</i>	FV=								
1922	Kovakuoriaiset	meriuposkuoriainen	<i>Macroplea pubipennis</i>	UI=								
1923	Kovakuoriaiset	vennäjäärä	<i>Mesosa myops</i>	UI=								
6966	Kovakuoriaiset	erakkokuoriainen	<i>Osmoderma barnabita</i>	UI=								
1924	Kovakuoriaiset	mustatattiainen	<i>Oxyporus mannerheimii</i>	XX								
4021	Kovakuoriaiset	kaskikeiju	<i>Phryganophilus ruficollis</i>	UIx								
1925	Kovakuoriaiset	korpikolva	<i>Pytho kolwensis</i>	UIx								
1926	Kovakuoriaiset	havuhuppukuoriainen	<i>Stephanopachys linearis</i>	UIx								
1927	Kovakuoriaiset	mäntyhuppukuoriainen	<i>Stephanopachys substriatus</i>	UIx								
1928	Kovakuoriaiset	haavansahajumi	<i>Xyletinus tremulicola</i>	UIx								
1930	Perhoset	tundrasinisiipi	<i>Agriades aquilo</i>				FV=		U			
1931	Perhoset	kääpiöhopeatäplä	<i>Boloria improba</i>				U2-	P	U			
1932	Perhoset	ruijannokiperhonen	<i>Erebia medusa</i> ssp. <i>polaris</i>				FV=					
1065	Perhoset	punakeltaverkkoperhonen	<i>Euphydryas aurinia</i>	U2-								
6169	Perhoset	kirjoverkkoperhonen	<i>Euphydryas maturna</i>	FV=								
1933	Perhoset	pohjanvalkotäpläpaksupää	<i>Hesperia comma</i> ssp. <i>catena</i>				FV=					
1067	Perhoset	kirjopapurikko	<i>Lopinga achine</i>	UI-								
1060	Perhoset	isokultasiipi	<i>Lycaena dispar</i>	FV+								
4038	Perhoset	luhtakultasiipi	<i>Lycaena helle</i>	U2-								
1058	Perhoset	muurahaissinisiipi	<i>Phengaris arion</i>	U2=								

Koodi	Eliöryhmä	Lajin suomenkielinen nimi raportoinnissa	Lajin tieteellinen nimi raportoinnissa	Boreaalinen 2019			Alpiininen 2019			Itämeri 2019		
				Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)
4039	Perhoset	valkotäplänokkosperhonen	<i>Nymphalis vaualbum</i>	OCC								
1057	Perhoset	isoapollo	<i>Parnassius apollo</i>	UI=								
1056	Perhoset	pikkuapollo	<i>Parnassius mnemosyne</i>	UI=								
1934	Perhoset	pohjanharmoyökkönen	<i>Xestia borealis</i>	UI-								
1935	Perhoset	rusoharmoyökkönen	<i>Xestia brunneopicta</i>	XX								
4044	Perhoset	pöllöyökkönen	<i>Xylomoia strix</i>	OCC								
1929	Nivelkärsäiset	palolatikka	<i>Aradus angularis</i>	UIx								
1048	Sudenkorennot	viherukonkorento	<i>Aeshna viridis</i>	UIx								
1038	Sudenkorennot	sirolampikorento	<i>Leucorrhinia albifrons</i>	FV=								
1035	Sudenkorennot	lummelampikorento	<i>Leucorrhinia caudalis</i>	FV=								
1042	Sudenkorennot	täplälampikorento	<i>Leucorrhinia pectoralis</i>	FV=								
1037	Sudenkorennot	kirjojokikorento	<i>Ophiogomphus cecilia</i>	FV=								
6182	Sudenkorennot	idänkirsikorento	<i>Sympecma paedisca</i>	FV+								
1939	Putkilokasvit	idänverijuuri	<i>Agrimonia pilosa</i>	UI-								
1940	Putkilokasvit	upossarpio	<i>Alisma wahlenbergii</i>	UI=		U						
1941	Putkilokasvit	lapinhilpi	<i>Arctagrostis latifolia</i>				FV=					
1942	Putkilokasvit	pikkupohjansorsimo	<i>Arctophila fulva</i> var. <i>pendulina</i>	UI+		U						
1943	Putkilokasvit	tunturiarho	<i>Arenaria pseudofrigida</i>	FV=								
1945	Putkilokasvit	perämerenketomaruna	<i>Artemisia campestris</i> ssp. <i>bottnica</i>	U2-		U						
4066	Putkilokasvit	serpentiiniraunioinen	<i>Asplenium adulterinum</i>	FV=								
1419	Putkilokasvit	pikkunoidanlukko	<i>Botrychium simplex</i>	UIx		U						
1949	Putkilokasvit	neidonkenkä	<i>Calypto bulbosa</i>	UIx								
1950	Putkilokasvit	tundrasara	<i>Carex holostoma</i>	FV=			FV=					
1951	Putkilokasvit	hajuheinä	<i>Cinna latifolia</i>	UI=								
1972	Putkilokasvit	lapinleikki	<i>Coptidium lapponicum</i>	FV=			FV=					
1953	Putkilokasvit	pahtaketokeltto	<i>Crepis tectorum</i> ssp. <i>nigritula</i>	UI=			UI=					
1902	Putkilokasvit	lehtotikankontti	<i>Cypripedium calceolus</i>	UI=								
1955	Putkilokasvit	myyränporras	<i>Diplazium sibiricum</i>	FV=			FV=					
1957	Putkilokasvit	idänkynsimö	<i>Draba cinerea</i>	FV=								
1958	Putkilokasvit	tuoksualvejuuri	<i>Dryopteris fragans</i>				FV=		U			
1976	Putkilokasvit	teodorinpihlaja	<i>Hedlundia teodori</i>	FV=								
1960	Putkilokasvit	nelilehtivesikuusi	<i>Hippuris tetraphylla</i>	UI-		U						
1903	Putkilokasvit	kiiltovalkku	<i>Liparis loeselii</i>	U2-								
1962	Putkilokasvit	laaksoarho	<i>Moehringia lateriflora</i>	UI=								
1833	Putkilokasvit	notkeänäkinruoho	<i>Najas flexilis</i>	UI-								
1963	Putkilokasvit	hentonäkinruoho	<i>Najas tenuissima</i>	UI-								
1966	Putkilokasvit	lietetatar	<i>Persicaria foliosa</i>	U2-		U						
1967	Putkilokasvit	pikkulehdokki	<i>Platanthera oligantha</i>				OCC					
1968	Putkilokasvit	ruijannuokkuesikko	<i>Primula nutans</i>	UI=		U						
1971	Putkilokasvit	rönsysorsimo	<i>Puccinellia phryganodes</i>	U2=		U						

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko jatkuu edelliseltä sivulta

Koodi	Eliöryhmä	Lajin suomenkielinen nimi raportoinnissa	Lajin tieteellinen nimi raportoinnissa	Boreaalinen 2019			Alpiininen 2019			Itämeri 2019		
				Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)
1477	Putkilokasvit	hämeen kylmänkukka	<i>Pulsatilla patens</i>	U2-								
1528	Putkilokasvit	lettorikko	<i>Saxifraga hirculus</i>	U1-			FV=					
6181	Putkilokasvit	pohjankehtoailakki	<i>Silene involucrata</i> ssp. <i>tenella</i>	U2-		U						
1413	Putkilokasvit	riidenlieko	<i>Spinulum annotinum</i>	FV=			FV=					
1977	Putkilokasvit	lapinkaurake	<i>Trisetum subalpestre</i>				FV=					
1978	Putkilokasvit	pahtahiettaorvokki	<i>Viola rupestris</i> ssp. <i>relicta</i>				FV=					
1386	Sammalet	lahokaviosammal	<i>Buxbaumia viridis</i>	U1=								
1980	Sammalet	hitupihtisammal	<i>Cephalozia macounii</i>	U2-								
1981	Sammalet	isotorasammal	<i>Cynodontium suecicum</i>	U1=								
1383	Sammalet	hiuskoukkusammal	<i>Dichelyma capillaceum</i>	U1=								
1381	Sammalet	katkokynsisammal	<i>Dicranum viride</i>	U1=								
6216	Sammalet	kiiltosirppisammal	<i>Hamatocaulis vernicosus</i>	U1=			FV=					
1982	Sammalet	pohjankellosammal	<i>Encalypta mutica</i>	U1=			U1=					
1983	Sammalet	lapinsirppisammal	<i>Hamatocaulis lapponicus</i>	U1=								
1984	Sammalet	korpihohtosammal	<i>Herzogiella turfacea</i>	U1=								
1985	Sammalet	harapurosammal	<i>Hygrohypnum montanum</i>	U2x								
1400	Sammalet	hohkasammal	<i>Leucobryum glaucum</i>	FV=								
1389	Sammalet	isonuijasammal	<i>Meesia longiseta</i>	U1=			FV=					
1986	Sammalet	lapinpahtasammal	<i>Orthothecium lapponicum</i>				U2=		U			
1987	Sammalet	idänlehtiasammal	<i>Plagiomnium drummondii</i>	U1=								
6166	Sammalet	kourukinnassammal	<i>Scapania carinthiaca</i>	U2=								
1409	Sammalet	rahkassammalet	<i>Sphagnum</i> spp.	FV=			FV=					
1988	Sammalet	jäykkäkiertosammal	<i>Tortella rigens</i>	U1x								
1378	Jäkalät	poronjäkalät	<i>Cladonia</i> spp.	FV=			U1=					
					4	17		1	5		3	4
					BOR			ALP			MBAL	

Selitteet:

FV	Suotuista	=	kehityssuunta vakaa
U1	Epäsuotuista, riittämätön	+	kehityssuunta paraneva
U2	Epäsuotuista, huono	-	kehityssuunta heikkenevä
XX	Ei tiedossa, suojelutaso jätetty arvioimatta	x	kehityssuunta tuntematon
	Laji ei esiinny kyseisellä alueella		
OCC	Laji on satunnaisesti esiintynyt		

Ilmastomuutos paineena ja uhkana:

P ilmastonmuutos arvioitiin paineeksi raportointikaudella (2013–2018)

U ilmastonmuutos arvioitiin uhaksi lähitulevaisuudessa (24 vuotta)

Taulukossa käytetty lajien nimistö on päivitetty vastaamaan voimassa olevaa Lajitietokeskuksen (2019) nimistöä.

Liite 3. Suomessa esiintyvien EU:n luontodirektiivin liitteen I luontotyyppien suojelutason kokonaisarvio kaudella 2013–2018 boreaalisella ja alpiinisella alueella, ja ilmastonmuutos luontotyyppien paineena ja/tai uhkana. Itämeren luontotyypit eivät ole mukana taulukossa.

Koodi	Ryhmä	Luontotyyppi	Naturtyp	Boreaalinen			Alpiininen		
				Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)
I210	Rannikko	Rantavallit	Annuel vegetation på driftvallar	UI=		U			
I220	Rannikko	Kivikkorannat	Perenn vegetation på steniga stränder	FV=		U			
I610	Rannikko	Harjusaaret	Rullstensåsöar i Östersjön med litoral och sublitoral vegetation	UI=		U			
I620	Rannikko	Ulkosaariston luodot ja saaret	Skär och små öar i Östersjön	UI=		U			
I640	Rannikko	Itämeren hiekkarannat	Sandstränder med perenn vegetation i Östersjön	U2=		U			
2110	Rannikko	Liikkuvat alkiovaiheen dyynit	Embryonala vandrande sanddyner	UI=		U			
2120	Rannikko	Liikkuvat rantakauradyynit	Vandrande sanddyner med sandrör (vita dyner)	UI=					
2130	Rannikko	Kiinteät, ruohokasvillisuuden peittämät dyynit *	Permanent sanddyner med örtvegetation (grå sanddyner)	U2=					
2140	Rannikko	Variksenmarjadyynit *	Urkalkade permanenta sanddyner med kråkris	U2=					
2180	Rannikko	Metsäiset dyynit	Trädklädda sanddyner	U2x					
2190	Rannikko	Dyynialueiden kosteat soistuneet painanteet	Dynvåtmarker	UI=					
2320	Rannikko	Kuivat kanerva- ja variksenmarjadyynit	Torra sanddyner och sandfält med ljung- och kråkrishedar	UI=					
9030	Rannikko	Maankohoamisrannikon primäärisukkes-siovaiheiden luonnontilaiset metsät *	Naturliga primärskogar vid landhöjningskuster	U2x					
3110	Sisävedet	Karut kirkasvetiset järvet	Oligotrofa, mineraalfattiga sjöar i slättområden	UI=	P	U	FV=		
3130	Sisävedet	Niukka-keskiravinteiset järvet	Oligotrofa-mesotrofa sjöar med strandpryl, braxengräs eller annuel vegetation på exponerade stränder	UI=					
3140	Sisävedet	Kalkkilammet ja -järvet	Kalkrika, oligo-mesotrofa sjöar med bentiska kransalger	UI=		U			
3150	Sisävedet	Luontaisesti runsasravinteiset järvet	Naturligt eutrofa sjöar	U2=	P	U			
3160	Sisävedet	Humuspitoiset järvet ja lammet	Dystrofa sjöar och småvatten	UI=	P	U	FV=		
3210	Sisävedet	Fennoskandian luonnontilaiset jokireitit	Naturliga större vattendrag av fennoskandisk typ	UI=	P	U	FV=		
3220	Sisävedet	Tunturijoet ja -purot	Alpina vattendrag med örtrik strandvegetation	FV=			FV=		
3260	Sisävedet	Pikkujoet ja purot	Vattendrag med flytbladsvegetation eller akvatiska mossor	U2=			FV=		
I630	Nummet, niityt ja pensastot	Merenrantaniityt *	Havsstrandängar av Östersjötyp	UI+		U			
4030	Nummet, niityt ja pensastot	Kuivat nummet	Torra hedar (alla typer)	U2=		U	MAR		

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko jatkuu edelliseltä sivulta

Koodi	Ryhmä	Luontotyyppi	Naturtyp	Boreaalinen			Alpiininen		
				Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)
6210	Nummet, niityt ja pensastot	Kuivat niityt ja pensaikot kalkkipitoisella alustalla (tärkeät orkidea-alueet*)	Kalkgräsmarker (* viktiga orkidelokaler)	U2=					
6230	Nummet, niityt ja pensastot	Runsaslajiset jäkkiniityt *	Artrika stagg-gräsmarker på silikatsubstrat	U2=					
6270	Nummet, niityt ja pensastot	Runsaslajiset kuivat ja tuoreet niityt *	Artrika torra-friska låglandsgräsmarker	U2=		U	MAR		
6280	Nummet, niityt ja pensastot	Alvarit ja kalkkivaikutteiset kalliokedot	Nordiskt alvar och prekambrika kalkhällmarker	U2=					
6410	Nummet, niityt ja pensastot	Siniheinäniityt	Fuktängar med blåtåtel och starr	U2=					
6430	Nummet, niityt ja pensastot	Kosteet suurruohoniityt	Högörtsängar	U1+			FV=		U
6450	Nummet, niityt ja pensastot	Tulvaniityt	Nordliga boreala alluviala ängar	U2=		U	MAR		
6510	Nummet, niityt ja pensastot	Alavat niitetyt niityt	Slätterängar i låglandet	U2=					
6520	Nummet, niityt ja pensastot	Vuoristojen niitetyt niityt	Höglänta slätterängar	XX					
6530	Nummet, niityt ja pensastot	Lehdes- ja vesaniityt *	Lövängar av fennoskandisk typ	U2-					
9070	Nummet, niityt ja pensastot	Hakamaat ja kaskilaitumet	Trädklädda betesmarker av fennoskandisk typ	U2=					
3230	Tunturit	Pensaskanervavarvikot	Alpina vattendrag med klådris längs stränderna				FV=		
4060	Tunturit	Tunturikankaat	Fjällhedar och boreala hedar	U1-	P	U	U1-		U
4080	Tunturit	Tunturipajukot	Subarktiska videbuskmarker	FV=			FV=		
6150	Tunturit	Karut tunturiniityt	Alpina och subalpina silikatgräsmarker	FV=		U	FV=		U
7240	Tunturit	Tuntureiden kalkki- ja virtavesivaikutteiset sara- ja viihviläkasvustot *	Alpina pionjärsamhällen med brokstarr/svedstarr				FV=		
8110	Tunturit	Tuntureiden vyöryrsoraitot ja -lohkareikot	Silikat-rasbranter	FV=			FV=		
9040	Tunturit	Tunturikoivikot	Nordisk fjällbjörkskog	U1-	P	U	U2-	P	U
7110	Suot	Keidassuot *	Högmossar	U2-			MAR		
7120	Suot	Muuttuneet ennallistamiskelpoiset keidassuot	Degenererade högmossar	XX					
7140	Suot	Vaihattumissuot ja rantasuot	Öppna svagt välvda mossar, fattigkärr, intermediära kärr och gungflyn	U1-			FV=		
7160	Suot	Lähteet ja lähdesuot	Mineralrika källor och källkärr av fennoskandisk typ	U2=		U	FV=		
7210	Suot	Taarnaluhtaletot *	Kalkkärr med gotlandsag	FV=					
7220	Suot	Huurresammallähteet *	Källor med tuffbildning	U1+		U	FV=		
7230	Suot	Letot	Rikkärr	U1-			FV=		
7310	Suot	Aapasuot *	Aapamyrrar	U1-			FV+		
7320	Suot	Palsasuot *	Palsmyrrar	U2-	P	U	U2-	P	U
9080	Suot	Metsäluhdut *	Lövsumpskogar av fennoskandisk typ	U2x			MAR		
91D0	Suot	Puustoiset suot *	Skogbevuxen myr	U1-			FV=		
1230	Kalliot	Kasvipeitteiset merenrantakalliot	Vegetationsklädda havsklippor	FV=					

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko jatkuu edelliseltä sivulta

Koodi	Ryhmä	Luontotyyppi	Naturtyp	Boreaalinen			Alpiininen		
				Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)	Kokonaisarvio	I paineena (P)	I uhkana (U)
8210	Kalliot	Kalkkikalliot	Klippvegetation på kalkrika bergssluttningar	UI-			FV=		
8220	Kalliot	Silikaattikalliot	Klippvegetation på silikatrika bergssluttningar	FV=			FV=		
8230	Kalliot	Kallioiden pioneerikasvillisuus	Pionjärvegetation på silikatrika bergsytter	FV=					
9010	Metsät	Luonnonmetsät *	Västlig taiga	UI-			FV=		
9020	Metsät	Jalopuumetsät	Boreonemorala, äldre naturliga ädellövskogar av fennoskandisk typ med rik epifytflora	UI=					
9050	Metsät	Lehdot	Örtrika, näringsrika skogar med gran av fennoskandisk typ	UI=			UI=	P	U
9060	Metsät	Harjumetsät	Barrskogar på eller i anslutning till rullstensåsar	U2-			MAR		
9180	Metsät	Raviini- ja rinnelehdot *	Lind-lönnskogar i sluttningar och raviner	UI=					
9190	Metsät	Vanhat tammimetsät	Äldre ekskogar på sura, sandiga slättmarker	UI=					
91E0	Metsät	Tulvametsät	Alluviala lövskogar, som tidvis är översvämmade	U2-			UI=		U
					7	21		3	7

Suojelutason lyhenteet

FV	Suotuisa	= kehityssuunta vakaa
UI	Epäsuotuisa, riittämätön	+ kehityssuunta paraneva
U2	Epäsuotuisa, huono	- kehityssuunta heikkenevä
XX	Ei tiedossa, jätetty arvioimatta	u kehityssuunta epävarma
MAR	marginaalinen esiintyminen	x kehityssuunta ei tiedossa
	ei esiinny alueella	

P Ilmastonmuutos arvioitu paineeksi luontodirektiivin raportoinnissa kaudella 2013–2018

U Ilmastonmuutos arvioitu tulevaisuuden uhkaksi luontodirektiivin raportoinnissa kaudella 2013–2018



ISBN 978-952-11-5123-1 (nid.)

ISBN 978-952-11-5124-8 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkok.)